

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA DE PAVIMENTOS
POLIMÉRICOS PARA PASSAGENS EM NÍVEL

RÔMULO MURUCCI OLIVEIRA

JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA DA UFJF

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA DE PAVIMENTOS
POLIMÉRICOS PARA PASSAGENS EM NÍVEL

RÔMULO MURUCCI OLIVEIRA

JUIZ DE FORA

2017

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA DE PAVIMENTOS
POLIMÉRICOS PARA PASSAGENS EM NÍVEL

Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Área de Conhecimento: Infraestrutura de Transportes

Orientador: Prof. M. Sc. Guilherme Soldati Ferreira

Co-orientador: Eng. M. Sc. Antonio Hamilton Michel Merheb

JUIZ DE FORA

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UFJF

2017

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA DE PAVIMENTOS
POLIMÉRICOS PARA PASSAGENS EM NÍVEL

RÔMULO MURUCCI OLIVEIRA

Trabalho Final de Curso submetido à banca examinadora constituída de acordo com o Artigo 9º do Capítulo IV das Normas de Trabalho Final de Curso estabelecidas pelo Colegiado do Curso de Engenharia Civil, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Aprovado em: 30 / NOV. / 2017

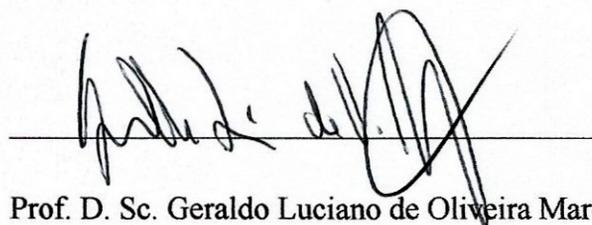
Por:



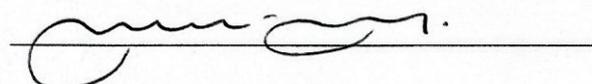
Prof. M. Sc. Guilherme Soldati Ferreira (Orientador – UFJF)



Eng. M. Sc. Antonio Hamilton Michel Merheb (Co-orientador – MRS Logística)



Prof. D. Sc. Geraldo Luciano de Oliveira Marques (UFJF)



Prof. D. Sc. Márcio Marangon (UFJF)

“Valeu a pena? Tudo vale a pena

Se a alma não é pequena.”

Fernando Pessoa

AGRADECIMENTOS

Antes de iniciar meus estudos no curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora, pesquisei sobre a atuação do engenheiro e encontrei no site do curso uma frase que me marcou durante a graduação: o principal objetivo da Universidade é de formar cidadãos plenos. Portanto gostaria de agradecer à UFJF, seu corpo docente, funcionários, direção e coordenação, que forneceram condições para meu desenvolvimento profissional, crescimento pessoal e formação de uma reflexão crítica da sociedade.

Gostaria de agradecer ao meu professor e orientador Guilherme Soldati, por aceitar e me ajudar com esse novo desafio. Ao meu co-orientador e mentor Antonio Merheb, pelos conselhos valiosos e por me acompanhar e motivar durante essa trajetória final. Sem o amor, carinho e apoio incondicional dos meus pais, Rita e Sérgio, não conseguiria dar nem o primeiro passo, portanto fica aqui a minha gratidão eterna a eles. Em todos os momentos, sobretudo quando a pressão e o estresse eram fortes, agradeço ao suporte e incentivo do meu amor e companheira Rebeca, para a superação dessa reta final.

Agradeço ao Programa de Educação Tutorial da Engenharia Civil da UFJF e a todos os seus membros e egressos, por esses anos de aprendizado, trabalho em equipe e experiências inesquecíveis. Finalmente, agradeço aos colegas da empresa que estagiei, MRS Logística, pela oportunidade e experiências adquiridas, além da permissão e contribuição imprescindíveis para que este estudo fosse realizado.

A todas as pessoas que contribuíram para a minha formação, direta ou indiretamente, meu sincero agradecimento.

RESUMO

Passagem em Nível (PN) é um cruzamento rodoferroviário em nível, ou seja, onde a rodovia e ferrovia se interceptam em um mesmo plano. Quando o cruzamento é sujeito ao fluxo intenso de trens e veículos, a conservação se torna essencial para manter a qualidade do pavimento e a segurança do usuário. No Brasil o principal material utilizado para o revestimento e preenchimento das passagens é o concreto asfáltico, que rapidamente se deteriora por ser incompatível com a via permanente ferroviária, principalmente devido à diferença de rigidez. A geometria, o projeto de drenagem e a preparação do subleito são os principais elementos que contribuem com a durabilidade dos cruzamentos. Com o objetivo de ampliar o conhecimento sobre PNs e utilizar materiais alternativos para pavimentos, as principais etapas do estudo são a determinação do ciclo e custos de manutenção dos cruzamentos asfálticos, priorização de passagens críticas, e análise de viabilidade de PNs poliméricas. Foi utilizado um método para o cálculo da viabilidade econômica que considera o custo do ciclo de vida de cada componente envolvido, realizado através de uma ferramenta elaborada em planilhas eletrônicas. Além do comprovado desempenho do pavimento polimérico, espera-se como resultados maior vida útil, facilidade de manutenção, menor impacto para a comunidade e para a ferrovia e custos reduzidos.

Palavras-chave: pavimento ferroviário, cruzamento rodoferroviário, modelagem financeira, ciclo do custo de vida.

ABSTRACT

Railway-Highway At-Grade Crossing is a road-rail level crossing, where the highway and railroad intersect in the same plane. When crossing is subject to the intense flow of trains and vehicles, conservation becomes essential to maintain pavement quality and user safety. In Brasil, the main material used for the surfacing and filling of passages is asphalt concrete, which rapidly deteriorates because it is not compatible with the track, mainly due to the difference in stiffness. The geometry, drainage design and the preparation of the subgrade are the main elements that contribute to the durability of the crossings. The main steps of the study are to determine the cycle and costs of maintenance of asphaltic crossings, prioritization of critical passages, and feasibility analysis of polymeric level crossings, with the objective of increasing knowledge about level crossings and using alternative materials for pavements. The method used to calculate economic viability considers the cost of the life cycle of each component involved, carried out through a tool elaborated in electronic spreadsheets. In addition to the proven performance of the polymer flooring, as results are expected longer service life, ease of maintenance, less impact to the community and to the railroad and reduced costs.

Keywords: railroad pavement, highway-railroad grade crossing, financial modeling, life cycle cost.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. JUSTIFICATIVA	8
1.2. OBJETIVOS.....	10
1.3. CAPITULAÇÃO	10
2. PASSAGENS EM NÍVEL.....	11
2.1. ELEMENTOS FÍSICOS DAS PASSAGENS	11
2.2. DESCRIÇÃO DA PROBLEMÁTICA	15
2.3. REQUISITOS DE PROJETO DAS PASSAGENS EM NÍVEL	22
2.4. GERENCIAMENTO DE CRUZAMENTOS	30
3. ESTUDOS DE CASO.....	38
3.1. COMPARATIVO ENTRE PLACAS DE POLÍMERO E DE CONCRETO	38
3.2. ANÁLISE DE DESEMPENHO DO PAVIMENTO POLIMÉRICO	42
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	47
4.1. CICLO E CUSTO DE MANUTENÇÃO	49
4.2. PRIORIZAÇÃO DE CRUZAMENTOS CRÍTICOS	52
4.3. VIABILIDADE ECONÔMICA	54
5. ANÁLISES E DISCUSSÕES	62
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
ANEXO I – Formulário para inventário de cruzamentos do Departamento de Transportes dos Estados Unidos da América (2016)	75
ANEXO II – Declaração da empresa.....	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa ferroviário em 2015. Fonte: CNT, 2015.	4
Figura 2. Seção transversal da plataforma ferroviária. Fonte: Nabais, 2014.	6
Figura 3. Degradação da pavimentação asfáltica em PN. Fonte: Rose, 2016.	7
Figura 4. Colisão entre caminhão e trem em Miriam, Nevada (junho de 2011). Fonte: FHWA, 2016.	8
Figura 5. Passagens em desnível. Fonte: Rose, 2016.	9
Figura 6. Elementos físicos do cruzamento rodoferroviário. Fonte: Rose, 2016.	11
Figura 7. Detalhes em corte da passagem em nível. Fonte: Rose, 2016.	12
Figura 8. Tipos de pavimentos mais utilizados em PNs. Fonte: Rose, 2016.	12
Figura 9. Corte transversal de PN de asfalto. Fonte: MRS, 2016.	13
Figura 10. Corte transversal de PN de madeira. Fonte: TRB, 1998.	13
Figura 11. Corte transversal de PN de concreto. Fonte: TRB, 1998.	14
Figura 12. Corte transversal de PN de borracha. Fonte: KRAIBURG, 2010.	14
Figura 13. PN com revestimento em blocos de concreto. Fonte: Gordillo & Arena, 2009.	15
Figura 14. PN com geometria côncava (esquerda) e convexa (direita). Fontes: MRS, 2016; Rose & Malloy, 2014; Rose, 2009.	16
Figura 15. Processo de deterioração da via devido à diferença de rigidez. Fonte: Tzanakakis, 2013.	17
Figura 16. Cruzamento mal drenado. Fonte: Rose <i>et al.</i> , 2014.	19
Figura 17. Composição do pavimento ferroviário (a) típica estrutura granular, (b) com sublastro de asfalto e (c) combinação de material granular e asfalto. Fonte: Rose & Malloy, 2016.	20
Figura 18. Greide máximo no cruzamento rodoferroviário. Fonte: DNIT, 2005.	22
Figura 19. Esquemático em planta de assentamento de contra e guarda trilhos. Fonte: MRS, 2016.	23
Figura 20. Passagem em nível em um dos ramos de uma interseção. Fonte: DNIT, 2005.	24

Figura 21. Gola de largura e profundidade para o friso do rodeiro. Fonte: MRS, 2016.....	25
Figura 22. Passagem em más condições de tráfego para pedestres. Fonte: Zangerolamo, 2015.	26
Figura 23. Passagem em nível adequada para usuários especiais (Bloomington, Indiana, EUA). Fonte: Rose, 2016.	26
Figura 24. Corte longitudinal de passagem em nível com sublastro asfáltico. Fonte: Rose, 2016.....	27
Figura 25. Vista isométrica de passagem em nível com sublastro asfáltico. Fonte: Rose, 2009.	28
Figura 26. Diagrama de decisão para ajustes da zona de aproximação da rodovia. Fonte: Malloy <i>et al.</i> , 2014.....	34
Figura 27. Diagrama de decisão de renovação da superfície de cruzamento. Fonte: Malloy <i>et al.</i> , 2014.....	35
Figura 28. Diagrama de decisão para renovação completa do cruzamento. Fonte: Malloy <i>et al.</i> , 2014.....	37
Figura 29. Elementos e esquema da aplicação das placas de borracha. Fonte: KRAIBURG, 2010a.	39
Figura 30. Montagem e instalação. Fonte: KRAIBURG (2008).	40
Figura 31. PN Benjamin Constant com placas de concreto pré-moldado. Fonte: Zangerolamo, 2015.....	41
Figura 32. Movimentação e quebra das placas de concreto. Fonte: Carmo & Campos, 2009.	42
Figura 33. Deformação do asfalto próximo da superfície da PN. Fonte: O autor.	43
Figura 34. Movimentação das placas de borracha. Fonte: O autor.....	43
Figura 35. Desnivelamento das placas de borracha. Fonte: O autor.....	44
Figura 36. Rachaduras nas placas. Fonte: O autor.....	44
Figura 37. Acúmulo de água e separação das placas. Fonte: O autor.....	45
Figura 38. Acúmulo de água na zona de aproximação da rodovia. Fonte: O autor.....	45

Figura 39. Destaque da diferença de nível no cruzamento. Fonte: O autor.	46
Figura 40. Diagrama com resumo da metodologia adotada. Fonte: O autor.	47
Figura 41. Dimensões de uma passagem em nível. Fonte: MRS, 2016.....	49
Figura 42. Obtenção do fator ponderador. Fonte: O autor.	53
Figura 43. Etapas para o cálculo do preço da PN de borracha. Fonte: O autor.....	54
Figura 44. Etapas para obtenção dos parâmetros de viabilidade econômica. Fonte: O autor. .	58
Figura 45. Primeira aplicação de sublastro asfáltico na malha ferroviária brasileira. Fonte: MRS, 2017.....	63

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Volume e produção de 2010 a 2016. Fonte: MTPA; EPL, 2017.	2
Gráfico 2. Densidade do transporte ferroviário. Fonte: CNT, 2015.	5
Gráfico 3. Custo acumulado total das alternativas de pavimentação - Fornecedor 1. Fonte: O autor.	57
Gráfico 4. Custo acumulado total das alternativas de pavimentação - Fornecedor 2. Fonte: O autor.	57
Gráfico 5. Quantidade de intervenções nas PNs asfálticas. Fonte: O autor.	60
Gráfico 6. Quantidade de intervenções nas PNs poliméricas. Fonte: O autor.	60
Gráfico 7. Tempo de intervalo total nas PNs asfálticas. Fonte: O autor.	61
Gráfico 8. Tempo de intervalo total nas PNs poliméricas. Fonte: O autor.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Evolução do processo de concessão da malha da RFFSA. Fonte: CNT, 2015.	2
Tabela 2. Extensão das linhas por concessionária em 2015. Fonte: CNT, 2017.	3
Tabela 3. Modos primários de falha na superfície de PNs. Fonte: Burns, 1989 <i>apud</i> TRB, 1998.	21
Tabela 4. Distâncias para variação de 0,30 m na elevação do bordo externo da rodovia em relação ao bordo interno. Fonte: FHWA, 2007.	23
Tabela 5. Recomendações para critérios de classificação de cruzamentos. Fonte: Blessing <i>et al.</i> , 2014.	31
Tabela 6. Vida útil estimada (em anos) em função do CEC. Fonte: TRB, 1998.	36
Tabela 7. Diretriz geral de seleção de superfície. Fonte: Malloy <i>et al.</i> , 2014.	36
Tabela 8. Cronograma simplificado de instalação. Fonte: Freitas, 2010.	38
Tabela 9. Dados levantados para alimentar o sistema. Fonte: O autor.	48
Tabela 10. Quantitativo de materiais e serviços, por metro de PN. Fonte: O autor.	51
Tabela 11. PNs prioritárias por parâmetro. Fonte: O autor.	52
Tabela 12. Matriz de prioridade das passagens críticas. Fonte: O autor.	53
Tabela 13. Matriz de prioridade das passagens viáveis. Fonte: O autor.	55
Tabela 14. Valores de entrada por fornecedor. Fonte: O autor.	58
Tabela 15. Indicadores de viabilidade obtidos por cenário de manutenção. Fonte: O autor. ...	59
Tabela 16. Comparação das características das PNs. Fonte: O autor.	64
Tabela 17. Resumo dos indicadores. Fonte: O autor.	66

LISTA DE SIGLAS

AASHTO – *American Association of State Highway and Transportation Officials*

AADT – *Average Annual Daily Traffic*

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANTF – Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários

AREMA – *American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association*

BCB – Banco Central do Brasil

CCV – Custo do Ciclo de Vida

CEC – *Car Equivalent Count*

CNT – Confederação Nacional do Transporte

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

EPL – Empresa de Planejamento e Logística S.A.

FHWA – *Federal Highway Administration*

FPA – Fator Ponderado de Acidentes

FRA – *Federal Railroad Administration*

IPR – Instituto de Pesquisas Rodoviárias

LCC – *Life Cycle Cost*

MC – Momento de Circulação

MDO – Mão de obra

MTPA – Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil

MTBT – Milhões de toneladas brutas transportadas

PCM – Planejamento e Controle da Manutenção

PEAD – Polietileno de alta densidade

PN – Passagem em nível

PPI – Programa de Parcerias de Investimentos

RRFSA – Rede Ferroviária Federal S.A.

TIR – Taxa interna de retorno

TKU – Toneladas por quilômetro útil

TLS – Trilho Longo Soldado

TRB – *Transportation Research Board*

TU – Toneladas úteis

UIC – International Union of Railways

USDOT – *United States Department of Transportation*

VBA – *Visual Basic for Applications*

VMA – Velocidade máxima autorizada

VPL – Valor presente líquido

1. INTRODUÇÃO

O modal ferroviário recebe destaque pela sua eficiência logística no transporte de cargas pesadas e expressivo volume de passageiros, através de longas distâncias. Com a criação da primeira locomotiva a vapor em 1804, pelo engenheiro Richard Trevithick, a base para o crescimento econômico da Inglaterra, durante a Revolução Industrial, estava consolidada. O transporte por tração animal mostrava-se arcaico frente às novas necessidades e demandas, o qual apresentava baixa velocidade de escoamento e pouca segurança no transporte (Nabais, 2014).

Durante os anos de 1840, a expansão da ferrovia se tornou contínua e intensa, com robustos investimentos e financiamentos. Os principais objetivos consistiam em aproveitar as vantagens do novo modal, o qual transportava mercadorias pesadas de forma rápida, a longas distâncias e com fretes reduzidos. Desta forma, os trens até hoje possuem nítida importância no crescimento econômico e desenvolvimento dos países (Nabais, 2014).

No Brasil, a ferrovia tornou-se um modal com características estratégicas, ao interligar regiões produtoras aos portos e conectar-se com os demais modais, complementando o transporte de cargas do país (CNT, 2015). A primeira ferrovia brasileira foi inaugurada por Irineu Evangelista de Souza, grande empresário brasileiro, conhecido como Barão de Mauá. Nomeada de Estrada de Ferro Mauá, inicialmente possuía 14,50 km de extensão e ligava a Baía de Guanabara à província de Petrópolis (Nabais, 2014).

Em 1957, foi constituída a Rede Ferroviária Federal Sociedade Anônima (RFFSA), com os objetivos de unificar e aperfeiçoar a gestão, manutenção, operação e expansão das ferrovias nacionais. A malha ferroviária brasileira atingiu seu apogeu nesse mesmo ano, com um total aproximado de 37 mil quilômetros de linha férrea, e 18 ferrovias controladas pelo Governo (CNT, 2015).

Contudo, na década de 1980 ocorreu um declínio do transporte ferroviário, frente à falta de investimentos e perda de competitividade para os demais modais, com destaque para a rodovia. Com a extinção da RFFSA, houve o processo de desestatização das ferrovias e o processo de concessão a partir de 1996, observado na Tabela 1.

Tabela 1. Evolução do processo de concessão da malha da RFFSA. Fonte: CNT, 2015.

Malhas regionais da RFFSA	Data do leilão	Concessionárias	Início da operação	Extensão (km)
Oeste	05/03/1996	Ferrovias Novoeste S.A. ^(A)	01/07/1996	1.621
Centro-Leste	14/06/1996	Ferrovias Centro-Atlântica S.A.	01/09/1996	7.080
Sudeste	20/09/1996	MRS Logística S.A.	01/12/1996	1.674
Tereza Cristina	26/11/1996	Ferrovias Tereza Cristina S.A.	01/02/1997	164
Sul	13/12/1996	Ferrovias Sul-Atlântico S.A. ^(B)	01/03/1997	6.586
Nordeste	18/07/1997	Companhia Ferroviária do Nordeste ^(C)	01/01/1998	4.238
Paulista	10/11/1998	Ferrovias Bandeirantes S.A. - Ferrobán ^(D)	01/01/1999	4.236

O volume transportado pelas ferrovias de carga entre 1997 e 2016 apresentou um aumento percentual de quase 100%, atingindo um volume de mais de 500 milhões de toneladas úteis (TU) no ano passado. O mesmo ocorre com a produtividade, a qual aumentou em 173% desde o início das concessões, e atingiu a marca de 340 bilhões de toneladas por quilômetro útil (TKU) em 2016. A frota de material rodante também acompanhou o crescimento desse período: houve aumento de 178% do número de locomotivas e 148% da quantidade de vagões (ANTF, 2017).

Desde 2010 houve um aumento de quase 16% do volume transportado, em toneladas úteis, e aumento de quase 23% da produtividade (Gráfico 1). O minério de ferro representou 78,9% e os granéis agrícolas 9,5% da carga total transportada ano passado. Dos 398 milhões de toneladas de minério de ferro 38,1% foram transportados pela EFC, 31,1% pela MRS e 29,2% pela EFVM, utilizando apenas 8% de toda a malha em operação em 2016 (MTPA; EPL, 2017).



Gráfico 1. Volume e produção de 2010 a 2016. Fonte: MTPA; EPL, 2017.

A Tabela 2 indica a extensão atual das linhas principais e ramais da infraestrutura viária das concessionárias por bitola (em quilômetros), e a Figura 1 apresenta o sistema ferroviário distribuído no território nacional.

Tabela 2. Extensão das linhas por concessionária em 2015. Fonte: CNT, 2017.

Operadoras reguladas pela ANTT	Origem	Bitola (m)			Total
		1,6	1	Mista	
ALLMN - América Latina Logística Malha Norte	-	735	-	-	735
ALLMO - América Latina Logística Malha Oeste	RFFSA	-	1.953	-	1.953
ALLMP - América Latina Logística Malha Paulista	RFFSA	1.533	305	269	2.107
ALLMS - América Latina Logística Malha Sul	RFFSA	-	7.223	-	7.223
EFC - Estrada de Ferro Carajás	-	997	-	-	997
EFVM - Estrada de Ferro Vitória a Minas	-	-	888	-	888
FCA - Ferrovia Centro-Atlântica	RFFSA	-	7.085	130	7.215
FNS S/A -Ferrovia Norte-Sul TRAMO NORTE (VALEC-Subconcessão)	-	745	-	-	745
FERROESTE - Estrada de Ferro Paraná Oeste	-	-	248	-	248
FTC - Ferrovia Tereza Cristina	RFFSA	-	163	-	163
MRS - MRS Logística	RFFSA	1.708	-	91	1.799
FTL S/A - Ferrovia Transnordestina Logística	RFFSA	-	4.257	20	4.277
VALEC/Subconcessão: Ferrovia Norte-Sul TRAMO CENTRAL	-	815	-	-	815
Subtotal	-	6.533	22.122	510	29.165
Demais operadoras	Origem	Bitola (m)			Total
		1,6	1	Mista	
Comp. Bras. de Trens Urbanos - CBTU - Passageiros	-	57	149	-	206
Supervia/CPTM/Trensurb/METRO-SP RJ - Passageiros	-	832	22	-	854
Trombetas/Jari/Amapa - Carga	-	70	230	-	300
Corcovado/Campos do Jordão	-	-	51	-	51
Subtotal	-	959	452	-	1.411
Total	-	7.492	23.027	510	30.576



Figura 1. Mapa ferroviário em 2015. Fonte: CNT, 2015.

Apesar das grandes melhorias em produtividade e investimentos após o programa de concessões, é notável a necessidade de maiores estímulos ao modal ferroviário, principalmente devido à grande dimensão do território brasileiro (CNT, 2015). Quando comparado a outros países, o Brasil está muito inferior quando se analisa a quantidade de quilômetros de infraestrutura ferroviária por mil quilômetros quadrados de área terrestre (Gráfico 2).

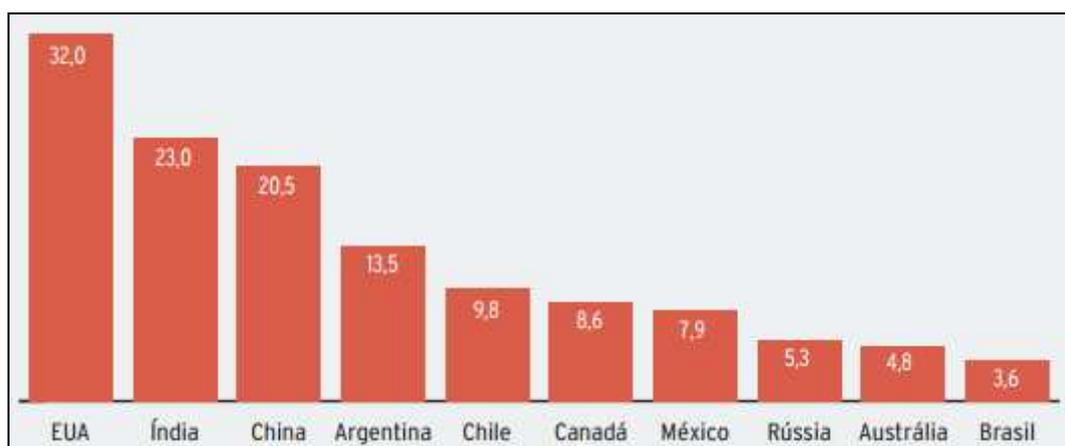


Gráfico 2. Densidade do transporte ferroviário. Fonte: CNT, 2015.

O Programa de Parcerias de Investimentos (PPI) criado pelo Governo em 2016 visa coordenar e reforçar investimentos em projetos de infraestrutura através de parcerias com o setor privado. No setor de infraestrutura de transportes, está previsto investimentos de 12,6 bilhões de reais no modal ferroviário (PPI, 2017). Os projetos de concessão ferroviária do atual portfólio do governo federal possuem potencial para criar 50 mil empregos (Revista Ferroviária, 2017). Esses fatos denotam perspectivas de oportunidades de investimentos e de empregos no setor, além do elevado desenvolvimento da ferrovia brasileira para os próximos anos.

A ferrovia, ou estrada de ferro, é um “sistema de transporte sobre trilhos, constituído de via férrea e outras instalações fixas, material rodante, equipamento de tráfego e tudo mais necessário à condução segura e eficiente de passageiros e cargas.” (ABNT, 1980, p. 13).

A via permanente ferroviária (Figura 2), tem por objetivo sustentar e guiar as locomotivas e vagões, do qual fazem parte a superestrutura e infraestrutura férrea. A Superestrutura ferroviária é composta por trilhos, fixações, dormentes, lastro e sublastro, e possui a função principal de resistir e transmitir os esforços para o subleito. A Infraestrutura é formada pela plataforma, que inclui terraplenagem, sistemas de drenagem, túneis e obras de arte correntes e especiais (Nabais, 2014).

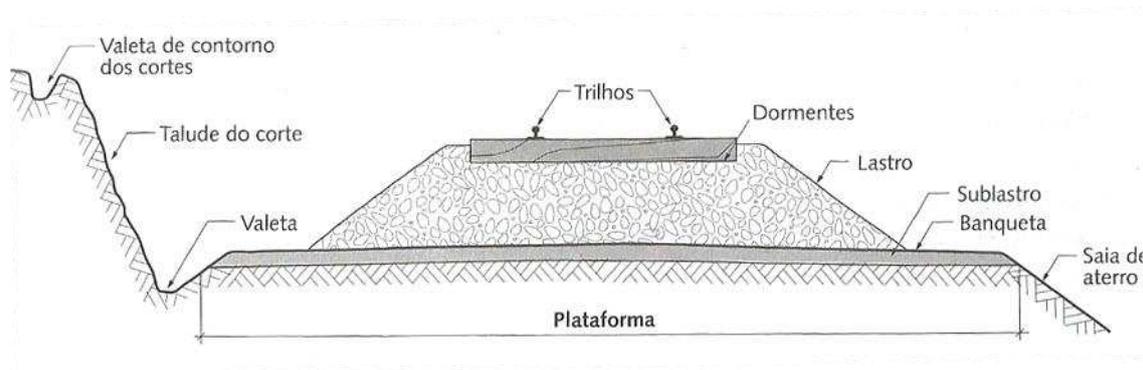


Figura 2. Seção transversal da plataforma ferroviária. Fonte: Nabais, 2014.

Algumas referências indicam a divisão da superestrutura e subestrutura na interface dormente-lastro. Segundo Indraratna *et al.* (2011) a subestrutura é formada pelos materiais geotécnicos dentro do sistema ferroviário (lastro, sublastro, geossintéticos, reforço do subleito e subleito), que possuem comportamentos geomecânicos similares.

Os trilhos são elementos de aço que estão em contato direto com as rodas do trem, devem guiar o trem e direcionar as cargas para os dormentes. As fixações são utilizadas para prender os trilhos nos dormentes, garantindo a funcionalidade de ambos. Os dormentes possuem a função de manter a bitola e distribuir os esforços para o lastro. O lastro, formado de material granular, permite ancorar os dormentes, garante comportamento resiliente ao sistema, resiste aos esforços verticais, transversais e longitudinais, além de possibilitar uma drenagem eficaz da superestrutura. O sublastro reduz os níveis de tensão para o subleito, além de funcionar como filtro, impedindo a penetração do lastro no subleito (Esveld, 2001; Selig & Waters, 1994).

Sempre que a via permanente intercepta uma rodovia no mesmo nível há a necessidade de uma Passagem em Nível (PN), chamada também de cruzamento rodoferroviário. É o cruzamento entre a ferrovia e rodovia em um mesmo plano horizontal, o qual dependendo das condições, pode gerar conflitos entre os tráfegos de trens, veículos e pedestres (CNT, 2015; DNIT, 2016). Quando sujeito ao fluxo intenso, a conservação torna-se essencial para manter a qualidade do pavimento e a segurança do usuário (Figura 3).

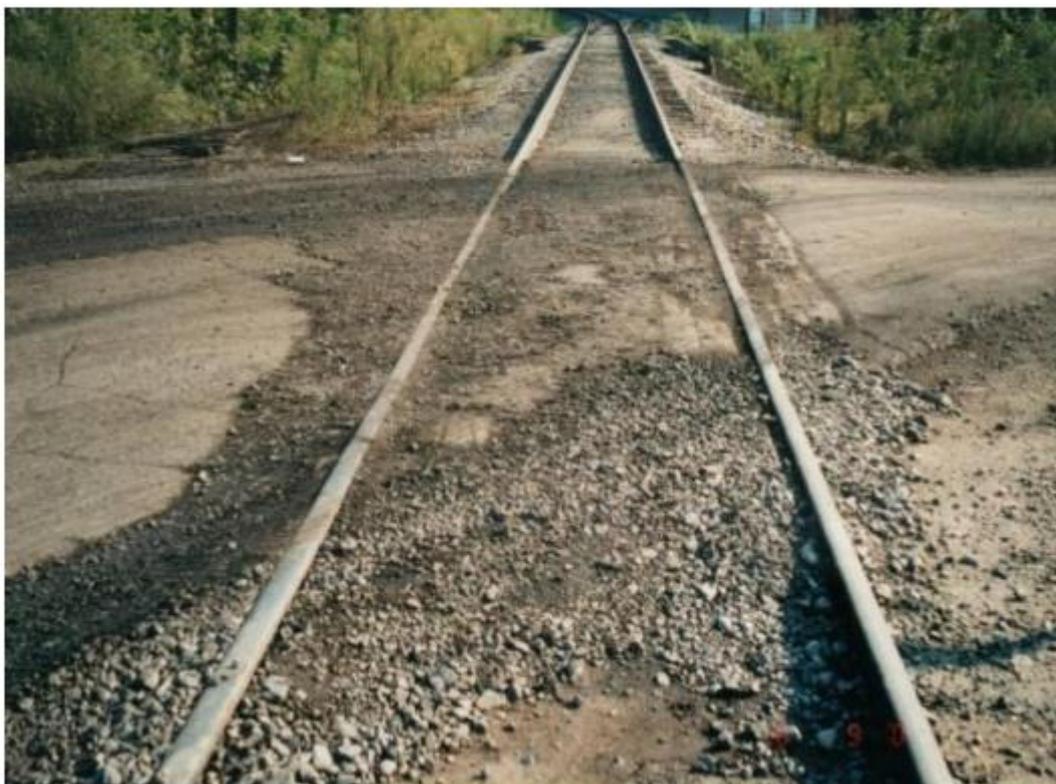


Figura 3. Degradação da pavimentação asfáltica em PN. Fonte: Rose, 2016.

As superfícies de cruzamento em uso hoje se enquadram em duas categorias gerais, monolíticas e modulares, e podem ser revestidas com diversos materiais, combinados ou não, dentre eles destacam-se: solo; solo com brita; trilho; paralelepípedo; macadame; asfalto; asfalto com acabamento de borracha; asfalto com acabamento de madeira; madeira; madeira com acabamento de borracha; painéis de aço; painéis de concreto reforçado; painéis de borracha; polietileno de alta densidade e laje de concreto (AREMA 2013; FHWA 2007).

1.1. JUSTIFICATIVA

Em 2015 na Europa, 25% de todos os acidentes ferroviários significativos ocorreram em passagens em nível, sendo que as colisões de veículos rodoviários (Figura 4) representaram 78% dos eventos severos (UIC, 2016).



Figura 4. Colisão entre caminhão e trem em Miriam, Nevada (junho de 2011). Fonte: FHWA, 2016.

A *International Union of Railways* (UIC) estima que tenham mais de 600.000 PNs no mundo e 114.000 na União Europeia (ETSC, 2017). No Brasil há aproximadamente uma passagem em nível a cada 4,4 quilômetros de ferrovia, totalizando 3.375 PNs em 15 mil quilômetros de malha ferroviária. Desse montante 1.856 passagens estão localizadas em perímetro urbano, sendo que destas, 279 são consideradas críticas e prioritárias, principalmente devido às características de tráfego (CNT, 2015).

Apesar de passagens em desnível (Figura 5) serem a solução mais segura (geralmente túneis ou viadutos), são também as mais onerosas, o que geralmente não fornecem viabilidade ao empreendimento, ou são de difícil implantação quando localizadas em pontos densamente urbanizados. Portanto é essencial ampliar os conhecimentos sobre as estruturas das PNs, por muitas vezes serem a única opção urbana e economicamente viável, as quais devem fornecer um traçado com qualidade estrutural e manter alto padrão de segurança aos usuários (Blessing *et al.*, 2014; CNT, 2015).



Figura 5. Passagens em desnível. Fonte: Rose, 2016.

O pavimento de passagens em nível com boas condições de manutenção, contribui para facilitar a transposição e reduzir a probabilidade de avarias dos veículos e, conseqüentemente, evitar a ocorrência de acidentes (Carmo, 2006; DNIT, 2016).

No Brasil o principal material utilizado para o pavimento de PN é o concreto asfáltico, que rapidamente se deteriora. Logo, a manutenção é frequente, o que gera longos períodos de interrupção dos tráfegos ferroviários e rodoviários. Além disso, aumentam-se custos de manutenção da superestrutura férrea por ser um modelo não recuperável quando desmontado. Portanto, é desejável a aplicação de pavimento em PN capaz de facilitar a manutenção e com elevada vida útil (Carmo & Campos, 2009).

Passagens em nível poliméricas são cruzamentos rodoferroviários que possuem o revestimento do pavimento constituído por placas de polímero. A maioria destes produtos comerciais são feitos de piso antiderrapante que também melhora a resistência ao desgaste e facilita a drenagem. Como as placas de madeira e de concreto, os painéis de borracha podem ser removidos e substituídos para manutenção da via permanente, facilitando o processo da manutenção ferroviária (FHWA 2007; TRB, 1998).

Devido à positiva experiência com as placas poliméricas na malha da MRS Logística (Carmo & Campos, 2009), já aplicadas quase dez anos sem a necessidade de manutenção, deu-se continuidade aos estudos de cruzamentos com pavimentos alternativos e busca de novos fornecedores, com o intuito de viabilizar e ampliar a utilização de materiais competentes.

Espera-se que, com esse e outros estudos similares, tenha-se conclusões que apontem pavimentos para passagens em nível com bom comportamento estrutural, elevada segurança, maior durabilidade, menores impactos para a ferrovia e para as comunidades, custos reduzidos e que tornem a manutenção mais ágil.

1.2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como foco auxiliar no conhecimento da utilização de materiais alternativos em pavimentos de passagens em nível ferroviárias, através da realização de um estudo de viabilidade técnica-econômica de pavimentos poliméricos em PNs.

Para tal, elaboraram-se análises de dados de manutenções realizadas em PNs asfálticas, fornecidos pela MRS Logística, além de levantamento do tema baseado em estudos publicados através de revisão bibliográfica. O trabalho também apresenta uma indicação do Custo do Ciclo de Vida (CCV) das passagens em nível e da escolha do material mais viável e adequado à função.

1.3. CAPITULAÇÃO

O primeiro capítulo aborda o tema ferroviário, explicita as considerações iniciais do trabalho e introduz a problemática.

O segundo capítulo revisa os estudos realizados sobre pavimentos das passagens em nível, além de elencar as lacunas do conhecimento existentes.

O terceiro capítulo detalha o estudo de caso de uma PN que possui superfície polimérica, utilizada para contribuir com a análise de viabilidade técnica.

O quarto capítulo determina a metodologia para elaborar o estudo de viabilidade econômica de pavimentos poliméricos de passagens em nível, além dos principais resultados obtidos.

O quinto capítulo apresenta análises elaboradas com a aplicação da metodologia e as discussões realizadas a partir do estudo.

O sexto capítulo finaliza o trabalho, conclui se os objetivos foram alcançados e sugere pesquisas futuras.

2. PASSAGENS EM NÍVEL

2.1. ELEMENTOS FÍSICOS DAS PASSAGENS

De acordo com Rose (2016) a passagem em nível é dividida em três regiões, conforme mostra a Figura 6. Há duas zonas de aproximação que são delimitadas dependendo da referência do tráfego – na rodovia ou ferrovia. A superfície do cruzamento representa a área física de interseção entre os pavimentos rodoviário e ferroviário.

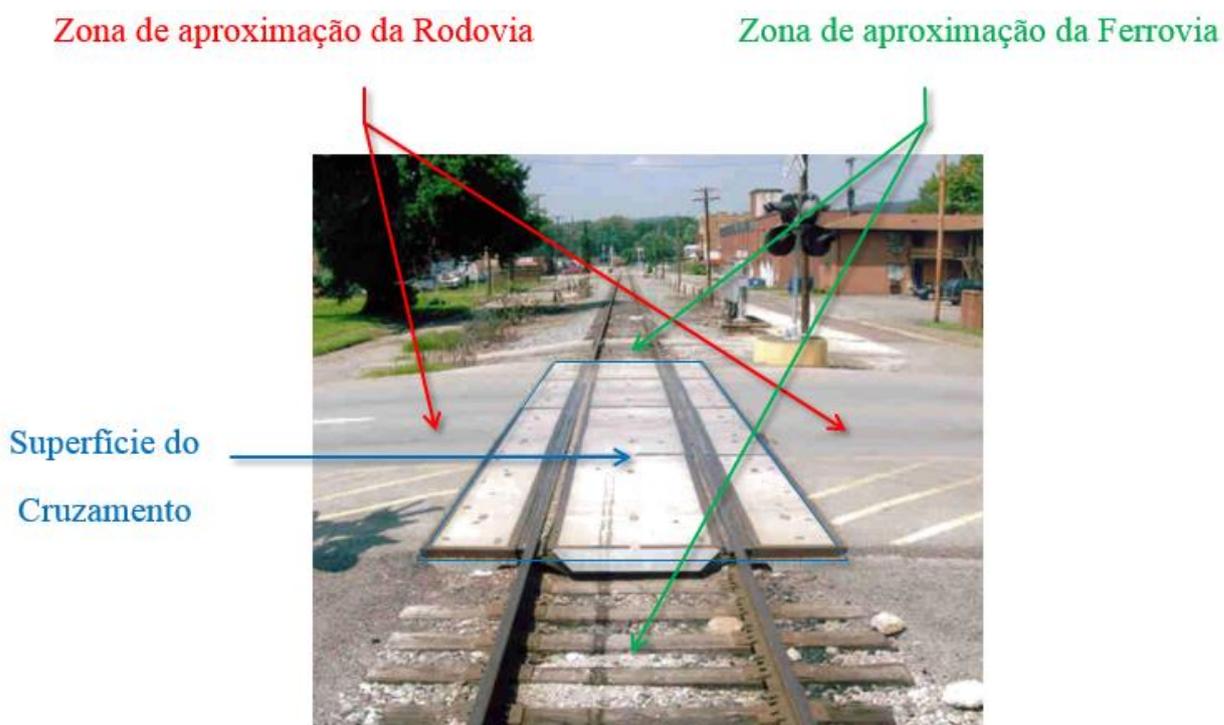


Figura 6. Elementos físicos do cruzamento rodoferroviário. Fonte: Rose, 2016.

A Figura 7 ilustra os componentes de uma passagem em nível com um corte longitudinal na direção da rodovia (ou corte transversal da ferrovia).

Os primeiros cruzamentos rodoferroviários apresentavam características muito primitivas, pois eram revestidos por materiais não consolidados como a areia e o cascalho, provavelmente advindos do lastro ferroviário. Com o tempo as superfícies foram protegidas por tábuas ou pranchas de madeiras e materiais betuminosos. Surgem então as superfícies modulares, como os painéis de madeira tratada e as seções metálicas pré-fabricadas, sendo que em 1954 foi inserido no mercado o primeiro painel de polímero (AREMA, 2013).

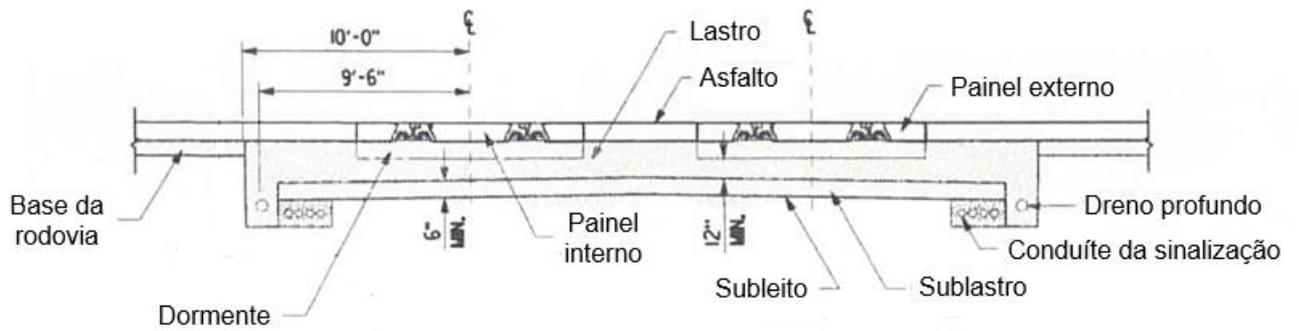


Figura 7. Detalhes em corte da passagem em nível. Fonte: Rose, 2016.

As superfícies de cruzamento em uso hoje (Figura 8) se enquadram em duas categorias gerais: monolíticas e modulares. As PNs monolíticas são aquelas que são formadas no cruzamento e não podem ser removidas sem destruir a superfície. Dentre as PNs monolíticas se destacam a de asfalto, laje de concreto e materiais compósitos (FHWA, 2007).



Asfalto



Painéis de borracha



Asfalto com acabamento de borracha



Painéis de madeira



Asfalto com acabamento de madeira



Painéis de materiais compósitos



Painéis de concreto



Laje de concreto

Figura 8. Tipos de pavimentos mais utilizados em PNs. Fonte: Rose, 2016.

As PNs de asfalto (Figura 9) são revestidas por concreto asfáltico. Pode-se proteger a região da passagem do friso da roda com outros materiais, como contra-trilho, madeira e borracha. Apesar da manutenção ferroviária sofrer com os extensivos danos do cruzamento e reconstruções da superfície de asfalto, a facilidade de execução e a superfície de rolamento suave e agradável que ela gera para os veículos, tornam essa uma escolha popular para as passagens em nível (TRB, 1998).

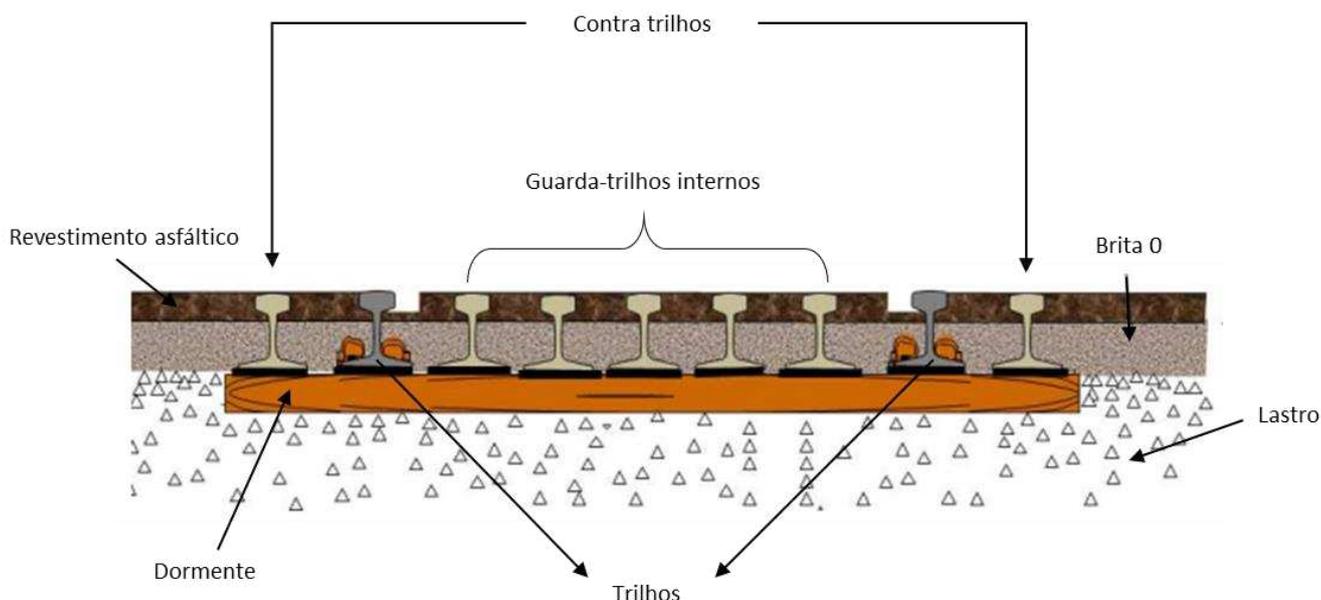


Figura 9. Corte transversal de PN de asfalto. Fonte: MRS, 2016.

As passagens com superfície de madeira (Figura 10) são formadas por painéis de madeiras tratadas, e possuem espessura suficiente para se apoiar nos dormentes e atingir o topo dos trilhos, sem o uso de tábuas ou calços. Caso a superfície não possua boa aderência ela deve ser revestida com outro material para garantir a segurança de tráfego (TRB, 1998).

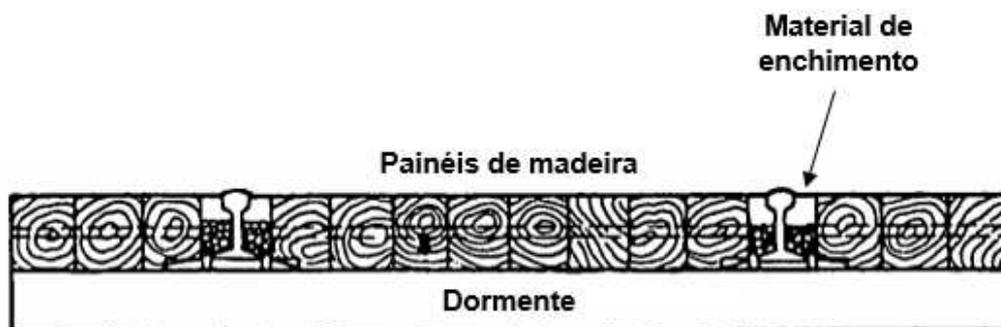


Figura 10. Corte transversal de PN de madeira. Fonte: TRB, 1998.

As PNs modulares são constituídas por painéis, sendo possível a remoção e remontagem sem demolição do material, dessa forma são interessantes pelo fato de facilitarem a manutenção ferroviária. Dentre as PNs modulares se destacam as de madeira, placas de concreto, polímero ou polietileno (FHWA, 2007).

Os painéis de concreto (Figura 11) são superfícies que geralmente são reforçadas por barras de aço em suas bordas, para evitar quebras devido às vibrações do tráfego (TRB, 1998). Quando há desníveis consideráveis nas passagens, há aumento dos impactos na superfície, o que pode levar a uma falha prematura, principalmente nas estradas de tráfego pesado com superfícies de cruzamento de concreto (Rose & Malloy, 2014).

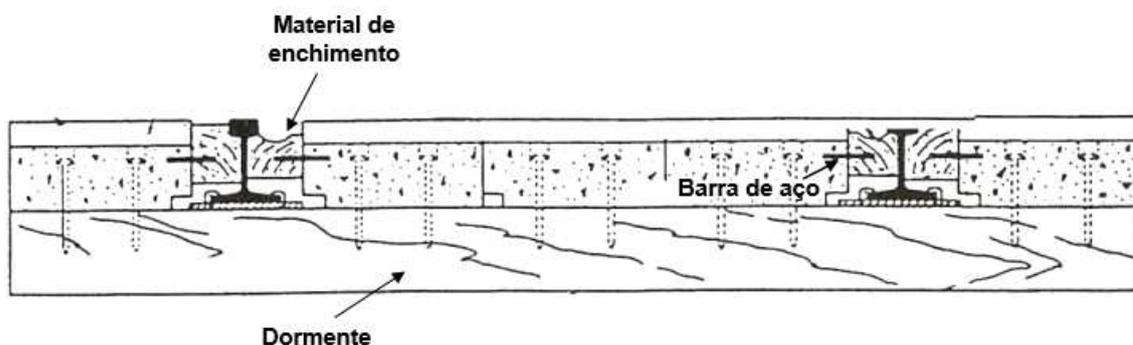


Figura 11. Corte transversal de PN de concreto. Fonte: TRB, 1998.

Os painéis poliméricos possuem boa resistência e aderência, inclusive em situações de chuva, além de possuir características que facilitam a drenagem (TRB, 1998). A Figura 12 mostra módulos de borracha fixados por tirantes, que garantem maior estabilidade para o tráfego.



Figura 12. Corte transversal de PN de borracha. Fonte: KRAIBURG, 2010.

Alguns modelos especiais são utilizados em circunstâncias específicas, como os blocos de concreto (Figura 13), e as superfícies que combinam painéis de concreto com acabamento de borracha ou polietileno (PNs mistas).



Figura 13. PN com revestimento em blocos de concreto. Fonte: Gordillo & Arena, 2009.

2.2. DESCRIÇÃO DA PROBLEMÁTICA

Os requisitos da operação ferroviária implicam na determinação da topografia local, portanto o alinhamento da rodovia deve ser ajustado ao nível da ferrovia no ponto da passagem em nível. Em termos de alinhamento vertical pode-se formar cruzamento demasiadamente côncavo ou convexo, dependendo se a seção da linha ferroviária for em corte ou aterro (Figura 14). Quando os alinhamentos e nivelamentos não são bem executados o cruzamento apresenta riscos de segurança para os veículos rodoviários. Interseções em curvas com ângulos horizontais muito distorcidos também podem gerar problemas (AASHTO, 2011; FHWA, 2007; TRB, 1998).

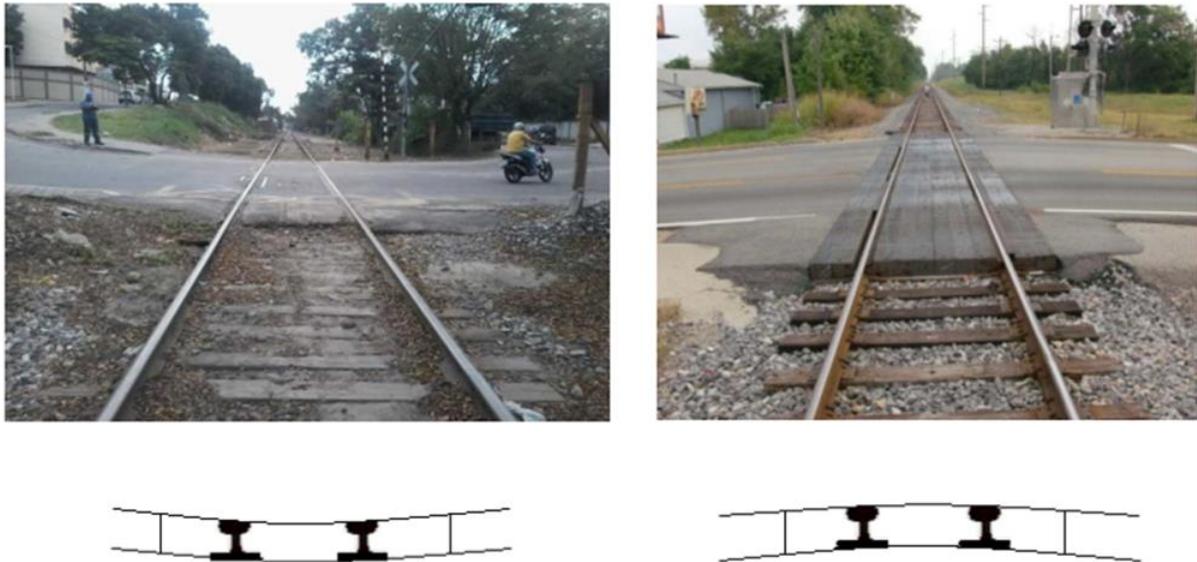


Figura 14. PN com geometria côncava (esquerda) e convexa (direita). Fontes: MRS, 2016; Rose & Malloy, 2014; Rose, 2009.

As imperfeições da superfície de cruzamento, da zona de aproximação rodoviária e o perfil vertical do cruzamento podem provocar a redução de velocidade dos veículos rodoviários, paradas indevidas, ou até avarias, o que aumenta a probabilidade de ocorrer acidentes. Além disso, o pavimento deteriorado contribui para desviar a atenção do motorista, podendo distraí-lo quanto a chegada de um trem. Passagens em condições severas podem prejudicar também a segurança da operação ferroviária, e forçar aos trens reduzirem a velocidade, impactando a eficiência do transporte (Carmo, 2006; FHWA, 2007; Rose, 2009).

As passagens em nível necessitam de manutenções com maior frequência que os pavimentos rodoviários e ferroviários adjacentes, tornando-se um elemento problemático para ambos modais. As atividades de substituição e reparos de cruzamentos rodoferroviários, representam o principal gasto com manutenções do pavimento para as agências rodoviárias e ferroviárias norte-americanas (Rose, 2009).

Independente da geometria de transição entre as duas vias, os pavimentos rodoviário e ferroviário são incompatíveis. A ferrovia lastrada é dimensionada para resistir grandes deflexões verticais e manter-se resiliente; o pavimento rodoviário apesar de flexível, em comparação ao lastro possui maior rigidez, além de acumular deformações permanentes com o tempo. A diferença de rigidez e a variação das deflexões entre os componentes dos cruzamentos potencializam o desgaste, ou seja, as duas vias são projetadas para trabalharem de formas distintas, cada qual sob um regime de comportamento mecânico. (Rose & Malloy, 2014; TRB, 1998).

Mudanças abruptas de rigidez na via causam concentração das tensões de contato entre a roda e o trilho. Isso eleva a degradação da superestrutura ferroviária, através do aumento do desgaste, da fadiga e do recalque da via devido à deformação permanente do lastro e do subleito. Iniciada a degradação da via ferroviária, as forças de contato da roda/trilho aumentarão e a taxa de deterioração da superestrutura acelerará (Figura 15). Ao suavizar as mudanças de rigidez ao longo da via, por exemplo, com a utilização de *grouting* ou *undersleeper pads*, as variações das forças aplicadas podem ser reduzidas (Tzanakakis, 2013).



Figura 15. Processo de deterioração da via devido à diferença de rigidez. Fonte: Tzanakakis, 2013.

Mudança de rigidez é clássico na ferrovia, principalmente em elementos de transição, ou seja, locais onde a construção da via muda, como em pontes, viadutos, aparelhos de mudança de via (AMV), aparelhos de transposição de via (ATV) e passagens em nível (FRA, 2008).

A preocupação primária com uma passagem em nível é manter um suporte adequado da fundação, para que as proximidades dos trilhos e pavimentos alcancem patamares de rigidez similares (Rose, 2016). A diferença de rigidez entre os pavimentos ocasiona a quebra da superfície do cruzamento, pois causa uma diferença de deslocamento vertical e das deformações dos materiais, comprometendo seu comportamento estrutural (Rose & Malloy, 2014; TRB, 1998).

Outro fator que merece destaque é a diferença de nível, que aumenta o desgaste da superfície do cruzamento, pois as deflexões verticais são muito distintas, causadas por locomotivas, carros de passeio, vagões, caminhões, ônibus, dentre outros. Logo há demanda de manutenções periódicas que geram altos custos (Blessing *et al.*, 2014). Inspeções realizadas em diversas PNs confirmam que a geometria deve ser bem projetada para não haver aumento do impacto dos veículos rodoviários na superfície (Rose & Malloy, 2014).

O afrouxamento das fixações, existência de buracos e irregularidades no pavimento rodoviário e desalinhamento da geometria na interseção das vias aumentam os impactos dos veículos rodoviários e ferroviários, o que elevam os níveis de tensões aplicados no pavimento, gerando maior desgaste e a falha estrutural da superfície (Rose, 2009; TRB, 1998). Geralmente o desnivelamento aumenta em 1,3 a 3,2 vezes e o desalinhamento em 1,2 a 2,0 vezes – em comparação com as áreas que estão fora do cruzamento (Kurhan *et al.*, 2015).

O carregamento induzido pelos veículos rodoviários influencia a vida útil de uma PN, com destaque para os veículos pesados. O impacto que um pneu de caminhão impõe na superfície do cruzamento é estimado em cerca de 20 a 30 vezes maior do que o de um pneu de carro, além disso, um caminhão com três vezes mais rodas do que um carro, provavelmente equivale a 50 a 100 carros em termos de carregamento estrutural (TRB, 1998).

A via férrea é dimensionada para drenar livremente a água através do lastro, e direcioná-la quando atingir a camada da fundação. Em contrapartida, o revestimento da rodovia tem por objetivo ser impermeável, impedindo que a água atinja as camadas intermediárias para não falhar estruturalmente (TRB, 1998). A primeira causa para o desgaste do cruzamento é a dificuldade de compatibilizar a drenagem dos dois modais no local da passagem, aliada às solicitações das cargas dos veículos (Rose & Malloy, 2014).

O acúmulo de água na infraestrutura ferroviária (Figura 16) impacta diretamente no desgaste da superestrutura, aumentando a frequência e os custos de manutenção. Em vias saturadas, se os elementos da via permanente, principalmente o sublastro, não conseguem drenar adequadamente, a poropressão aumenta. O excesso de poropressão causado pelo carregamento dos trens não se dissipa por completo, pois a carga possui comportamento cíclico. Como consequência tem-se aumento de deformação plástica, diminuição da rigidez, diminuição da resistência, bombeamento de finos, degradação do lastro e abrasão dos dormentes com a formação da lama (Indraratna *et al.*, 2011; Selig & Waters, 1994).

Como a drenagem da rodovia geralmente contém impurezas e detritos, caso essas águas atinjam a ferrovia, podem fluir através do lastro criando uma massa cimentante quando secar, o que aumenta os níveis de tensão no cruzamento e refletem em maior desgaste da superestrutura ferroviária (TRB, 1998).



Figura 16. Cruzamento mal drenado. Fonte: Rose *et al.*, 2014.

O solo pode ser protegido por sublastro constituído de asfalto (Figura 17), que serve de barreira para a água, evita-se assim que o solo fique saturado e deforme muito, diminuindo custos de manutenção e aumentando a durabilidade da passagem. O problema do bombeamento de finos também é contido, ao impedir a formação de lama, tornando a drenagem eficaz. O lastro se confina, atinge alta resistência e se compacta de tal forma que reduz as vibrações e os movimentos do pavimento. Além disso, o asfalto atua como uma camada resiliente que distribui uniformemente pressões reduzidas para o subleito, garantindo suporte adequado sem aumento substancial da rigidez da via (Albalat *et al.*, 2011; Rangel *et al.*, 2015; Rose & Malloy, 2014).

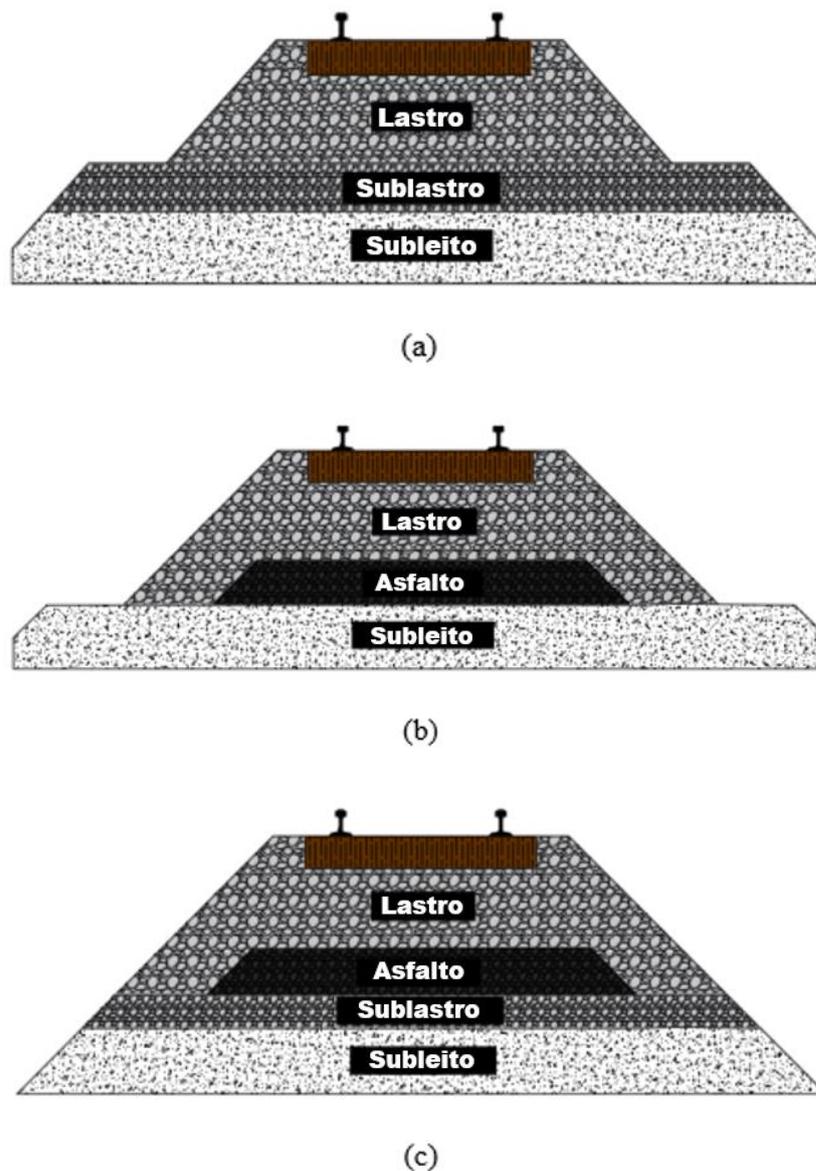


Figura 17. Composição do pavimento ferroviário (a) típica estrutura granular, (b) com sublastro de asfalto e (c) combinação de material granular e asfalto. Fonte: Rose & Malloy, 2016.

O subleito causa forte influência sobre a qualidade e durabilidade da PN, sendo um componente crucial para esta desenvolver-se de forma favorável (Blessing *et al.*, 2014). Há constatações em campo que ratificam que o recalque do subleito altera a geometria e, conseqüentemente, acelera o desgaste do pavimento (Zangerolamo, 2015). Um suporte estrutural adequado e uma boa execução do subleito são fatores que influenciam mais no desempenho dos cruzamentos, do que o tipo de material escolhido para a superfície (Blessing *et al.*, 2014; Rose & Malloy, 2014).

A drenagem e preparação do subleito são os principais fatores que contribuem para manter uma boa qualidade e aumentar a vida útil da superfície da PN, além de assegurar economia na manutenção. Outros fatores como quantidade de caminhões que trafegam, superelevação, ângulo de cruzamento, velocidade máxima da rodovia e da ferrovia, número de faixas rodoviárias e ferroviárias, preparação do solo, métodos de instalação, manutenção da via, e até a condução de corrente elétrica nos trilhos, também influenciam nos desgastes das passagens (Blessing *et al.*, 2014; FHWA, 2007).

A falha da PN pode ocorrer na superfície ou, mais frequentemente, na estrutura de suporte. A falha da superfície está intimamente ligada às condições do subleito, ao método de execução utilizado e ao tipo de material do pavimento (Rose, 2009; TRB, 1998). A Tabela 3 especifica os modos de falha distintos para os principais tipos de superfícies de cruzamento – notar que o volume de tráfego ferroviário influencia no modo das falhas.

Tabela 3. Modos primários de falha na superfície de PNs. Fonte: Burns, 1989 *apud* TRB, 1998.

Tipo de superfície	Modo de falha	Baixo tráfego ferroviário	Alto tráfego ferroviário
Asfalto	Incapacidade de suportar cargas de impacto	Falha na flange	Falha na flange e do asfalto acima dos dormentes quando estes recalcam sob ação do trânsito
Madeira	Abrasão, podridão e danos de impacto resultantes de fixações soltas	Abrasão e afrouxamento das fixações	Recalque diferencial dos dormentes causam um carregamento irregular nos painéis e afrouxamento das fixações
Painéis de borracha	Abrasão e separação das placas	Abrasão	O recalque diferencial dos dormentes causará distorção, resultando em separação da borracha
Painéis de concreto	Abrasão da superfície e quebra das placas	Abrasão da superfície	A abrasão da superfície e a falta de suporte do painel, a partir do assentamento dos dormentes, resultarão em rachaduras no painel

2.3. REQUISITOS DE PROJETO DAS PASSAGENS EM NÍVEL

A *Federal Highway Administration* (FHWA), *American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association* (AREMA), e a *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) fornecem orientações sobre o projeto para gerenciamento de tráfego e segurança de cruzamentos. Entretanto, são poucos os regulamentos que abordam os requisitos específicos para o projeto, especificações de materiais, construção, instalação e manutenção das superfícies dos cruzamentos (Rose & Malloy, 2014).

A zona de aproximação da rodovia deve possuir alinhamentos verticais e horizontais adequados para proporcionar o tráfego seguro e direcionar a atenção do motorista para o trânsito. Em linhas gerais, o cruzamento precisa ser de fácil transposição e assegurar uma boa visibilidade para os motoristas (FHWA, 2007).

A inclinação da rampa de aproximação deve ser no máximo 0,85% (AASHTO, 2011; Rose, 2016). A Figura 18 mostra a recomendação dos alinhamentos verticais. Note que próximo do trilho há um trecho em tangente, dessa forma garante-se que veículos de eixos muito baixos consigam transpor o cruzamento (AASHTO, 2011; DNIT, 2005; FHWA, 2007). Quando houver mais de uma linha ferroviária, os topos dos trilhos de todas as faixas devem ser trazidos para o mesmo plano (AREMA, 2013).

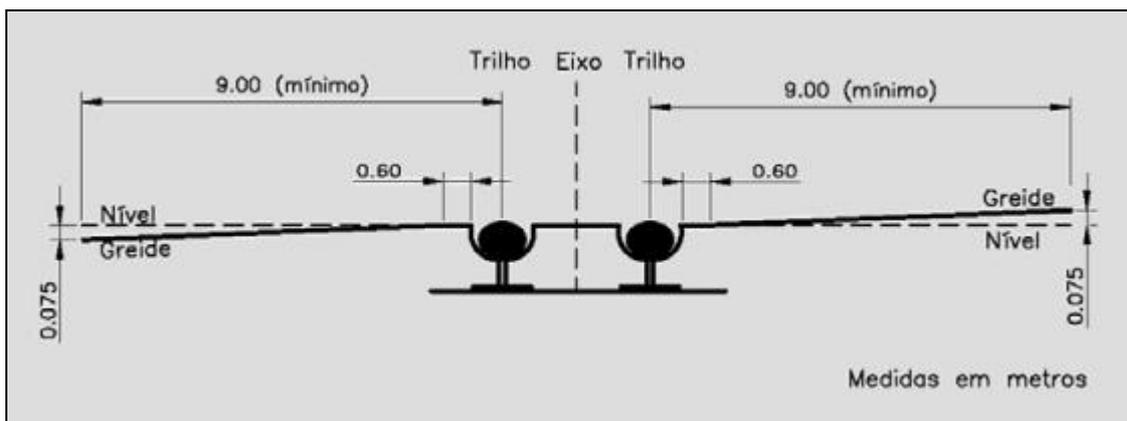


Figura 18. Greide máximo no cruzamento rodoferroviário. Fonte: DNIT, 2005.

Segundo a ABNT (2009) nos trechos da rodovia antes e depois dos trilhos, deve haver um comprimento mínimo de 25 metros em tangente. Além disso, o cruzamento da rodovia com a ferrovia só poderá acontecer caso a rampa da via férrea no local seja menor que 3%. As vias públicas de acesso deverão possuir extensão mínima de 40 metros de superfície pavimentada. Para PNs de asfalto, há aplicação de contratrilho, que deve estender no mínimo 50 centímetros para cada lado, devem distar entre si no máximo 15 centímetros e possuir extremidade chanfrada (Figura 19).

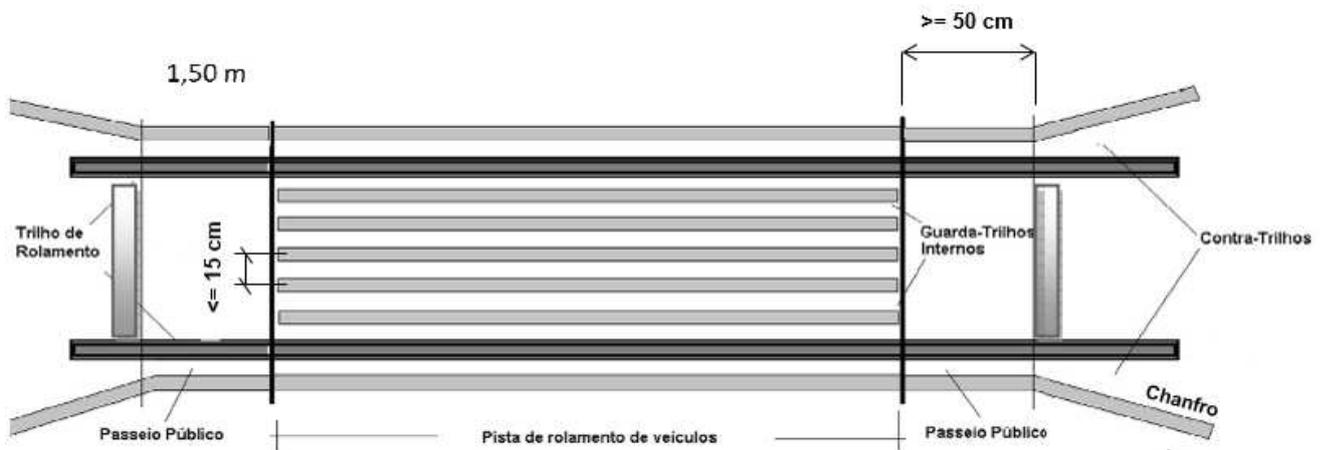


Figura 19. Esquemático em planta de assentamento de contra e guarda trilhos. Fonte: MRS, 2016.

Preferencialmente, a rodovia deve cruzar a ferrovia perpendicularmente e em trechos de tangente, tanto para a rodovia quanto para a ferrovia. Dessa forma garante-se uma visibilidade adequada para os motoristas e reduz problemas de manutenção do cruzamento (AASHTO, 2011; DNIT, 2005). Segundo a FHWA (2007) o ângulo de cruzamento horizontal pode atingir um valor mínimo de 70°, já a ABNT (2009) autoriza até um valor mínimo de 45°. Quando não é possível evitar a curva da rodovia, deve-se obedecer às indicações da Tabela 4.

Tabela 4. Distâncias para variação de 0,30 m na elevação do bordo externo da rodovia em relação ao bordo interno. Fonte: FHWA, 2007.

Velocidade (km/h)	Distâncias (m)
70	55
80	60
100	70
110	75

O cruzamento rodoferroviário deve manter uma distância adequada quando estiver próximo de outras interseções, como um cruzamento rodoviário, para garantir a segurança do tráfego no local (Figura 20). Quando não é possível obter uma distância segura, é necessário interconectar o tráfego com sinais luminoso (AASHTO, 2011; DNIT, 2005).

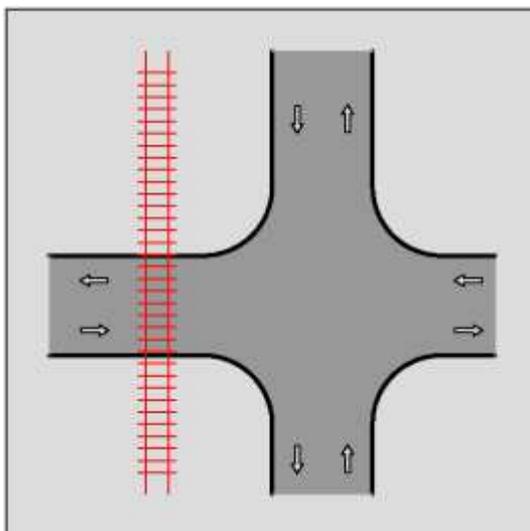


Figura 20. Passagem em nível em um dos ramos de uma interseção. Fonte: DNIT, 2005.

Todos os dormentes localizados na PN, e até pelo menos 6 metros além de cada extremidade do cruzamento, devem possuir placas de apoio para os trilhos em ambos os lados. A menos que seja utilizado um sistema de fixação elástica, todos os dormentes devem ser fixados com pelo menos 3 linhas de pregos (dois pregos no lado interno) por placa de apoio e pelo menos 2 pregos por placa, e todos os dormentes através da passagem em nível devem ser fixados com sistema de ancoragem. A colocação de palmilhas amortecedoras é aceitável em sistemas de fixação elástica (AREMA, 2013).

A largura da PN deve-se estender no mínimo 30 centímetros a partir da borda externa da superfície do cruzamento, medida perpendicularmente à rodovia. Caso o cruzamento possua calçada, se a distância entre as bordas da superfície do cruzamento e da calçada for menor que 2,4 metros, o material de revestimento de ambos deverá ser o mesmo, além de ser contínuo até a extremidade da calçada (AREMA, 2013).

Para garantir a passagem adequada do friso das rodas, a gola deve ter pelo menos 7 centímetros de largura e 5 centímetros de profundidade (Figura 21). Caso aprovado pela operação ferroviária, a largura pode ser reduzida. Deve-se considerar o tráfego de usuários especiais (pedestres, carrinhos de bebê, *skates*, cadeirantes, ciclistas) no dimensionamento da gola, pois suas dimensões influenciam diretamente na transposição desses usuários (ABNT, 2009; AREMA, 2013).

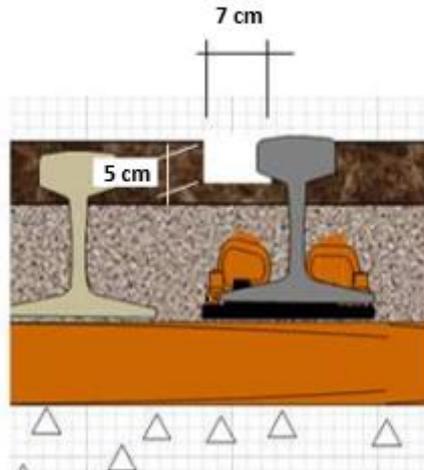


Figura 21. Gola de largura e profundidade para o friso do rodeiro. Fonte: MRS, 2016.

A calçada destinada para os pedestres deve possuir uma boa segurança e desempenho nos cruzamentos, assim como para os carros. A Figura 22 mostra uma passagem em péssimas condições para o tráfego de usuários especiais. Já a Figura 23, ilustra um exemplo de como uma PN oblíqua pode ser projetada para proporcionar melhor segurança. Observe que a calçada foi removida da passagem em nível adjacente e mudou-se para outro ponto, formando um ângulo reto e, portanto, garantindo um tráfego mais adequado para esses usuários (TRB, 1998).



Figura 22. Passagem em más condições de tráfego para pedestres. Fonte: Zangerolamo, 2015.



Figura 23. Passagem em nível adequada para usuários especiais (Bloomington, Indiana, EUA). Fonte: Rose, 2016.

Os dormentes devem suportar uniformemente o material da superfície do cruzamento. Recomenda-se o uso de Trilho Longo Soldado (TLS) nos cruzamentos, evitando a utilização de juntas, pois estas tendem a desenvolver desgaste e falhas na superfície. Os materiais utilizados na superfície do cruzamento devem ser projetados para se manterem nivelados com o topo dos trilhos, quando recentemente instalados (AREMA, 2013).

O autor Rose (2009) elenca os principais fatores para o sistema de suporte estrutural dos cruzamentos rodoferroviários:

- Garantir capacidade estrutural para resistir as diferentes aplicações de cargas da rodovia e ferrovia, minimizando o acúmulo de tensões na fundação;
- Minimizar as deflexões verticais e as deformações permanentes dos pavimentos ferroviário e rodoviário, para reduzir o desgaste do cruzamento;
- Capacidade drenante adequada para não comprometer a resistência da camada de fundação.

Uma maneira de suavizar a mudança abrupta de rigidez no cruzamento, é aumentar ou reduzir a rigidez de maneira gradual nas zonas de aproximação da ferrovia e rodovia, respectivamente. Sugere-se que qualquer estrutura no cruzamento que espalhe as tensões em uma área maior possibilitará um menor desgaste da infraestrutura ferroviária. Um geotêxtil ou uma mistura à quente de concreto asfáltico poderão ser adotados abaixo do lastro ou sublastro (Figura 24), prolongando-se além da travessia para estabelecer uma zona de transição (Rose, 2009; TRB, 1998).



Figura 24. Corte longitudinal de passagem em nível com sublastro asfáltico. Fonte: Rose, 2016.

Para aplicação de camada de sublastro asfáltico (Figura 25) é preciso remover a superfície do cruzamento e escavar até uma profundidade de 70 centímetros. Em seguida, dependendo das condições do subleito, este deve ser tratado e/ou compactado para, posteriormente, receber uma camada de 15 a 20 centímetros de asfalto, com aproximadamente 3,5 metros de largura, e 8 a 30 metros de comprimento além das extremidades do cruzamento. O nível de compactação do asfalto deve ser de 95%, realizado por rolo vibrador. O lastro, com espessura de 20 a 30 centímetros, deve ser compactado e sucedido por uma camada de brita 0 (Rose, 2009).

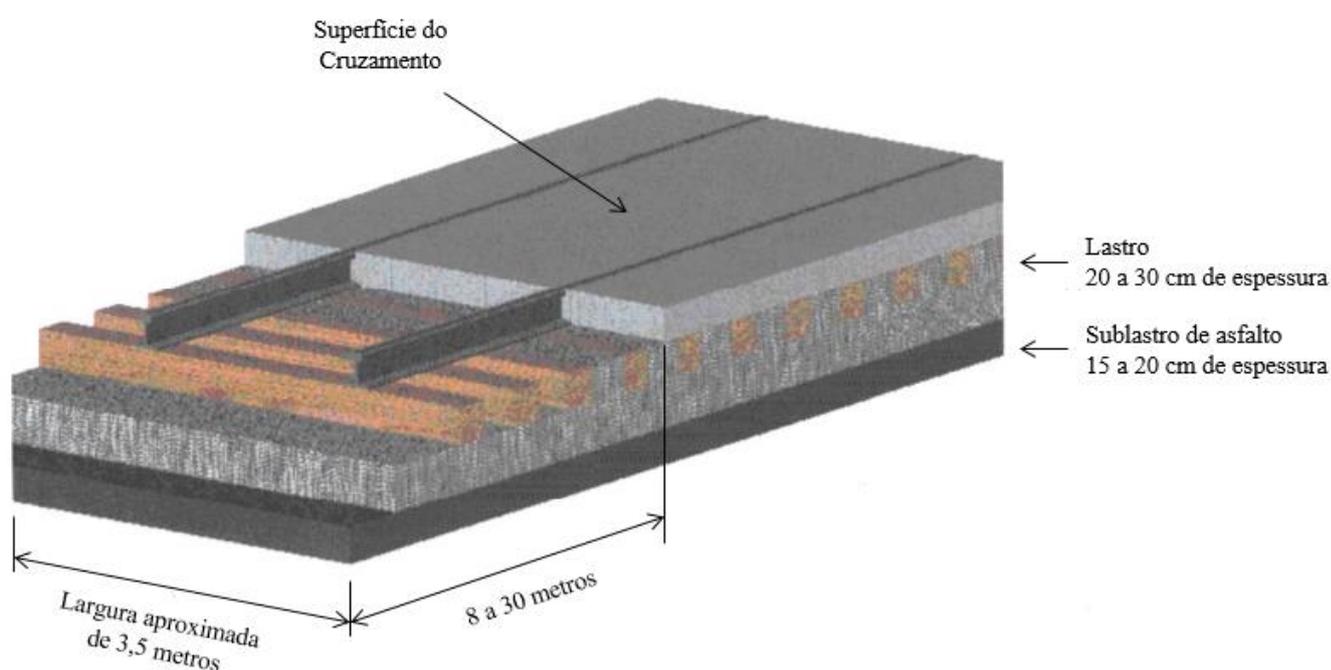


Figura 25. Vista isométrica de passagem em nível com sublastro asfáltico. Fonte: Rose, 2009.

O bom dimensionamento dos dispositivos é essencial para obter uma drenagem eficiente, tanto do lastro quanto dos drenos. As drenagens superficial e subterrânea devem ser interceptadas e lançadas para fora do cruzamento. A drenagem é aperfeiçoada ao estabelecer uma diferença adequada de nível entre a superfície de cruzamento e as canaletas. O perfil da rodovia deve permitir que a água escoe para fora da travessia, portanto, um cruzamento em formato convexo (com crista) geralmente facilita a drenagem. (AREMA, 2013; FHWA, 2007).

Deve-se avaliar a geometria e a estratégia de manutenção da PN, não apenas para garantir que a drenagem das vias rodoviária e ferroviária se compatibilizem, mas também para que o pavimento rodoviário não bloqueie a livre drenagem do lastro e nem direcione a água da rodovia para a ferrovia. Isso é possível com a instalação de um bueiro na zona de aproximação da rodovia, em uma cota adequada para permitir o fluxo das águas. Outro fator importante é impedir o acúmulo de água no centro da superfície do cruzamento, deixando-a livre para escoar para as laterais (AREMA, 2013; Blessing *et al.*, 2014; FHWA, 2007).

Os principais aspectos executivos que são avaliados nos pavimentos de PNs são o tempo de instalação e remoção, durabilidade, custos, segurança, necessidade de equipamentos para instalação/remoção, interferências com outras áreas, material/equipamento utilizado, capacidade de adaptação e acabamento. Deve-se evitar longos períodos de interrupção dos tráfegos ferroviário e rodoviário, além de buscar a facilidade de manutenção da superestrutura ferroviária e superfícies mais duráveis (Carmo & Campos, 2009).

Para garantir um bom desempenho da passagem realiza-se manutenções preventivas e troca dos componentes, sempre que necessário. Um cruzamento com fluxo pesado deve passar por manutenção a cada dois anos, 25% dos dormentes devem ser trocados a cada 8 anos e os trilhos devem ser substituídos em até 12 anos (FHWA, 2007).

Segundo a AREMA (2013) e a FHWA (2007), a manutenção da rodovia nas proximidades do cruzamento deve seguir alguns procedimentos:

- Os reparos próximos do cruzamento são executados com cuidado, para evitar danos à superfície e à linha férrea adjacente;
- A equipe de manutenção deve manter atenção sobre o tráfego ferroviário. Aconselha-se sincronizar as atividades de manutenção de acordo com as necessidades e intervalos da operação ferroviária;
- A manutenção dos dispositivos de drenagem deve ser executada com cuidado para evitar o bloqueio do fluxo das águas;
- As atividades de recapeamento asfáltico devem evitar que o incremento de altura direcione as inclinações para dentro da superfície do cruzamento, para que não acumule água no centro da superfície.

A AREMA (2013) recomenda que a restauração da zona de aproximação da rodovia seja realizada perpendicularmente à linha ferroviária, com extensão de no mínimo 30 centímetros a partir da extremidade da superfície do cruzamento.

2.4. GERENCIAMENTO DE CRUZAMENTOS

As ferrovias geralmente têm a responsabilidade de manter a superfície de cruzamento entre os trilhos e alguns centímetros das extremidades dos dormentes que suportam a superfície, enquanto a agência rodoviária tem jurisdição para a construção e manutenção do trecho de rodovia próximo ao cruzamento (TRB, 1998).

Uma melhor cooperação deve ser estabelecida entre as entidades responsáveis pela manutenção da rodovia e ferrovia, a respeito dos cruzamentos rodoferroviários. Essa coordenação geralmente é informal e não estruturada, portanto, as atividades de manutenção rodoviária podem afetar os requisitos geométricos do cruzamento. Deve ampliar o conhecimento de ambos modais a respeito das atividades de manutenção, da origem e direcionamento dos investimentos e dos requisitos de projeto (FHWA, 2007; Rose & Malloy, 2014).

Como cada cruzamento rodoferroviário apresenta características distintas (por exemplo, tráfegos ferroviário e rodoviário, geografia, geologia, atividade econômica), é necessário que os engenheiros avaliem cada projeto individualmente, para estabelecer a solução mais adequada com base neste contexto (Malloy *et al.*, 2014; FHWA, 2016).

Uma forma correta para avaliar o desempenho das passagens em campo é padronizar como as informações são coletadas e como as PNs são classificadas de acordo com o nível de desgaste, para garantir uma maior confiabilidade da metodologia de avaliação. Com o tempo os inspetores e engenheiros poderão observar um cruzamento e saber por que foi reparado e, possivelmente, prever quando precisará ser reparado novamente (Blessing *et al.*, 2014).

A Tabela 5 mostra uma padronização adotada para classificar as condições físicas do pavimento das PNs de asfalto, concreto, borracha e madeira, respectivamente.

Tabela 5. Recomendações para critérios de classificação de cruzamentos. Fonte: Blessing *et al.*, 2014.

	Asfalto	Placas de Concreto	Placas de Borracha	Madeira
1 - Excelente	Nova construção ou construção recente			
	Sem defeitos			
	Nenhuma ação é necessária			
2 - Boa	< 9 metros de rachaduras	Todas as juntas em boas condições	Todas as juntas em boas condições	Todas as juntas em boas condições
	Todas as rachaduras pequenas	Pequenos defeitos de superfície	Pequenos defeitos de superfície	Pequenos defeitos de superfície
	Reparos em boas condições	Pouco desgaste da superfície	Pouco desgaste da superfície	Pouco desgaste da superfície
	Pouca desagregação da superfície Buracos < 2"			Primeiros sinais de rachaduras e falha das juntas até 1/4"
3 - Razoável	Primeiros sinais de rachaduras em "escamas de jacaré"	Primeiros sinais de rachaduras e falha das juntas até 1/4"	Desgaste superficial moderado a alto	Fendas com rachaduras até 1/4 do comprimento da tábua
	Depressões de 1/2" a 1" de profundidade	Primeiros sinais de juntas quebradas	Depressões de 1/2" a 1" de profundidade	Sinais de juntas de 1/4" a 1/2"
	< 50% da superfície rachada em blocos	Polimento de 25 a 50% da superfície	Afrouxamento das fixações	Afrouxamento das fixações
	< 9 metros de rachaduras	Poucas rachaduras no reforço	Quinas dobradas para cima	Pedaços soltos > 36 polegadas quadradas
	Rachaduras abertas < 1/8"	Várias rachaduras nas quinas	Deslocamentos verticais < 1/2"	
	Superfície muito desagregada	Afrouxamento das fixações		
	Reparos em condições moderadas Um ou dois buracos < 6"			
4 - Ruim	> 25% de rachaduras em "escamas de jacaré"	Painéis soltos sem deslocamento vertical	Deslocamentos verticais entre 1/2" e 1"	Fendas ou rachaduras de 1/4 a 1/2 do comprimento da tábua
	Depressões > 1" de profundidade	Muitas rachaduras < 1"	Depressões > 1" de profundidade	Tábuas soltas
	Diversas rachaduras em bloco	Extensos reparos em más condições	Extensos reparos em más condições	Extensos reparos em más condições
	9 a 18 metros de rachaduras	Alguns buracos	Muitas juntas abertas > 1/2"	Muitas juntas e rachaduras > 1/2" largura
	Rachaduras com muita erosão e larguras > 1/4"	Muitas juntas e rachaduras transversais abertas	Painéis soltos	Deslocamentos verticais entre 1/2" e 1"
	Mais de dois buracos < 6"	Fixações soltas projetadas < 1/4" acima da superfície	Fixações soltas projetadas < 1/4" acima da superfície	Alguns buracos ou perda de material entre 36 e 100 pol. quadradas
	Reparos em más condições		Alguns buracos > 6"	Fixações soltas projetadas < 1/4" acima da superfície
5 - Péssima	> 50% de rachaduras em "escamas de jacaré"	Deslocamento vertical entre painéis soltos > 1/2"	Deslocamentos verticais > 1"	Muitos buracos e perda de material > 100 pol. quadradas
	Depressões ou deformações > 2"	Extensas rachaduras	Perda dos painéis	Deslocamentos verticais > 1"
	Extensos reparos em más condições	Extensas falhas nos reparos	Extensas falhas nos reparos	Extensas falhas nos reparos
	Perda da integridade da superfície	Falhas nas juntas	Extensas juntas abertas > 1/2"	Extensas rachaduras > 1" de largura
	Extensas deformações superficiais	Fixações soltas projetadas > 1/4" acima da superfície	Fixações soltas projetadas > 1/4" acima da superfície	Fixações soltas projetadas > 1/4" acima da superfície
	Buracos > 6"	Velocidade restrita	Velocidade restrita	Fendas ou rachaduras maiores que metade do comprimento da tábua
				Velocidade restrita Perda dos painéis

Outras informações como características do clima local, tipo e umidade do solo, composição da infraestrutura e sistema de drenagem podem ser adicionadas para avaliar as passagens. Dessa forma é possível compreender as condições da fundação do cruzamento, e como ela pode ser impactada e deteriorada (Blessing *et al.*, 2014).

A coleta e organização de dados devem ser parte do processo de planejamento antes da escolha do plano de ação necessário. Tomar tempo para identificar os dados disponíveis ajuda não só na tomada de decisão, mas também podem aprimorar as ferramentas de análise e os métodos de visualização que beneficiam o plano de ação (FHWA, 2016). Informações de localização e classificação, da operação ferroviária, do tráfego rodoviário, dispositivos de segurança adotados e as características físicas fornecem a base do inventário (FRA, 2016).

O Anexo I mostra um exemplo de inventário, este atualmente utilizado pelo *United States Department of Transportation* (USDOT).

Com o preenchimento do inventário pode-se criar sistemas de gestão de ativos para melhorias de cruzamentos e diagnósticos. O inventário permite observar características que podem não estar em conformidade com os requisitos de projeto, o que direciona previamente algumas ações de manutenção. Os dados de inventário podem ainda ser usados para identificar a exposição ao risco com base nos volumes de tráfego rodoviário e ferroviário nos cruzamentos (FHWA, 2016; Malloy *et al.*, 2014).

Além disso, os inventários possuem informações que fornecem a base para a análise de priorização das passagens. O processo de priorização dos cruzamentos críticos varia muito para cada localidade, pois os fatores envolvidos e a experiência vivenciada são diferentes. Apesar de alguns elementos serem comuns, o principal fator de priorização pode ser de acordo com as inspeções em campo, histórico de custo de manutenção, características físicas, número de acidentes, volume de tráfego, ou a combinação destes. (FHWA, 2016).

Inclusive algumas entidades criam fórmulas de prioridade para seleção e classificação de cruzamentos críticos, utilizando um ou mais dos fatores citados anteriormente. Isso permite calcular de maneira precisa e objetiva a prioridade de melhoria das passagens, automaticamente, mesmo quando há mudanças nas suas características. Recomenda-se utilizar índices que considerem o histórico de colisões, o custo e os recursos disponíveis, as condições físicas, o volume de tráfego ferroviário e rodoviário, o potencial de perigo e o sistema de proteção adotado (FHWA, 2007). Além desses fatores, algumas entidades consideram em suas fórmulas o comportamento dos motoristas, tipos de veículos, se a linha é principal ou secundária, velocidade máxima da via e fator custo-benefício de melhoria das passagens (FHWA, 2016).

O DNIT (2016) enumera os parâmetros necessários para estabelecer as diretrizes de projetos de eliminação ou redução de interferências dos cruzamentos rodoferroviários, são eles: classificação da via urbana; volume de tráfego rodoviário e ferroviário; velocidade máxima autorizada; trânsito de pedestres; número de vias férreas; histórico de acidentes; valores das rampas de aproximação; número de faixas de rodagem; condições do pavimento; e visibilidade. Os autores Hans *et al.* (2015) recomendam a utilização de uma fórmula considerando esses fatores em conjunto, de forma que seja avaliado o impacto gerado para a comunidade. Esses parâmetros podem fazer parte do inventário para auxiliar tanto nos projetos de manutenção quanto na priorização dos cruzamentos críticos.

Para decidir sobre um curso de ação apropriado, são necessárias três categorias básicas para avaliar as técnicas de reparo de cruzamentos. Os diagramas mostrados a seguir foram modelados para agilizar o processo de tomada de decisão, fornecendo uma base para determinar soluções ótimas e econômicas de manutenção dos cruzamentos, restaurando a suavidade de transposição, ao alcançar um nível de desempenho adequado a longo prazo (Malloy *et al.*, 2014).

Quando o problema identificado está apenas na zona de aproximação da rodovia, o diagrama da Figura 26 pode ser utilizado para direcionar as ações de manutenção. Geralmente nesses casos os cruzamentos apresentam pouquíssimos recalques e as superfícies com boas condições estruturais (Malloy *et al.*, 2014).

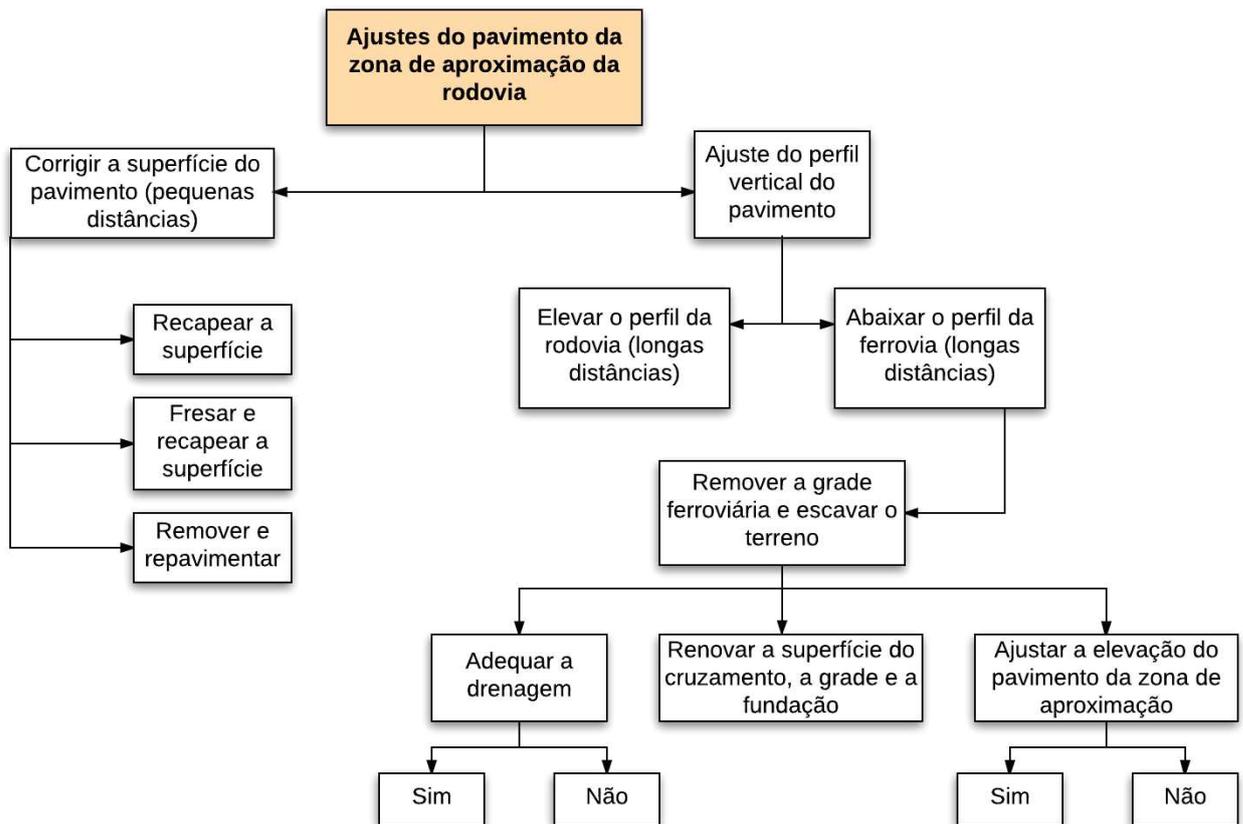


Figura 26. Diagrama de decisão para ajustes da zona de aproximação da rodovia. Fonte: Malloy *et al.*, 2014.

Para as correções de pequenas distâncias (1,8 a 3,6 metros), a rugosidade da superfície deve ser readequada para permitir boa aderência e capacidade de tráfego. Nos casos de correção geométrica, as distâncias são maiores (6 metros) para contemplar uma zona de transição. A redução do perfil ferroviário geralmente é utilizada em passagens côncavas (Malloy *et al.*, 2014; Rose, 2009).

Se apenas a superfície do cruzamento está deteriorada, a melhor solução é renová-la utilizando o diagrama da Figura 27. Esse cenário é caracterizado por pouco recalque da fundação do cruzamento, e quando houverem poucos dormentes para serem trocados. O trilho deve estar em condições satisfatórias para o tráfego (Malloy *et al.*, 2014).

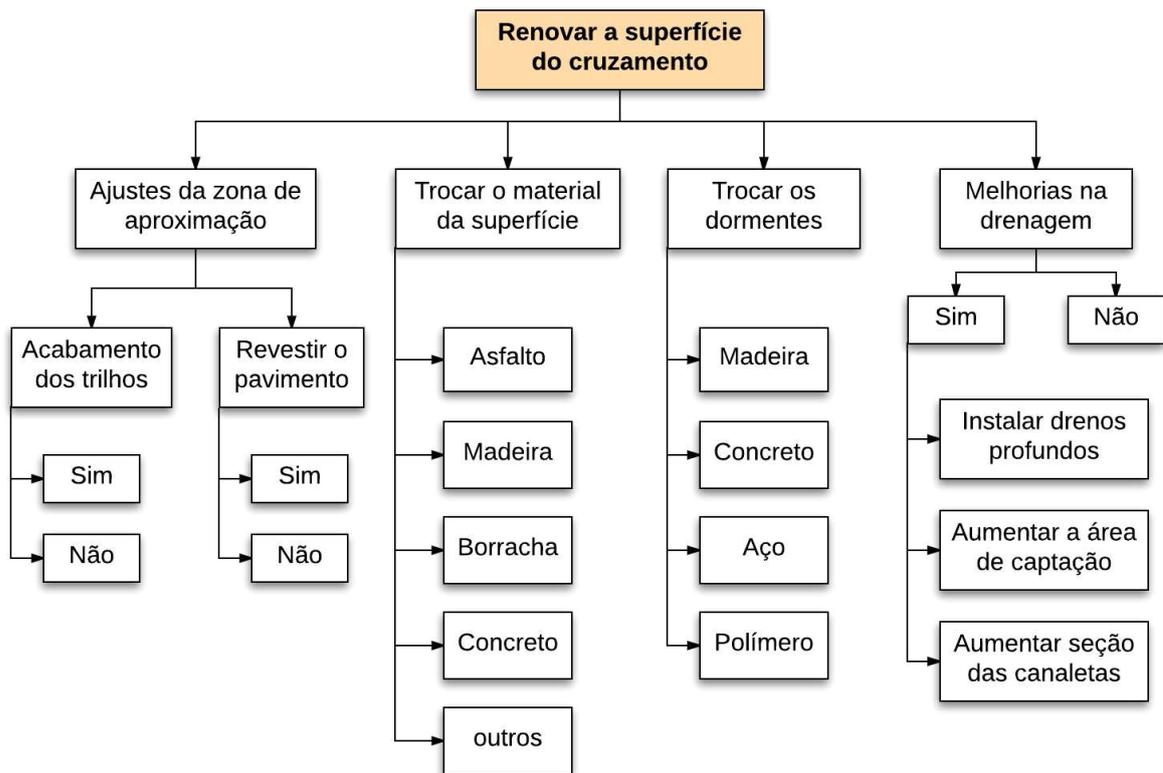


Figura 27. Diagrama de decisão de renovação da superfície de cruzamento. Fonte: Malloy *et al.*, 2014.

A durabilidade da superfície é determinada, principalmente, pelo nível de carregamento causado pelo tráfego dos veículos, com destaque para os veículos pesados. O valor CEC (*Car Equivalent Count*) é definido como a soma do total de carros de passeio mais 100 vezes o total de caminhões. O valor AADT (*Average Annual Daily Traffic*) representa, por amostragem, a quantidade de veículos que percorreram uma seção em um ano, dividido por 365. Existem alguns parâmetros da ferrovia que também contribuem para determinar a escolha do material da superfície, dentre eles o volume do tráfego ferroviário, a carga por eixo da ferrovia e a velocidade dos trens (FRA, 2016; Malloy *et al.*, 2014).

A Tabela 6 mostra a vida útil estimada (em anos) de cada tipo de superfície de cruzamento, em função do CEC. A Tabela 7 apresenta uma diretriz geral para seleção de material para a superfície de PN, em função do CEC (por dia) e carga de transporte ferroviário. Os cruzamentos classificados como “padrão” são mais econômicos (por exemplo, asfalto e madeira) e os cruzamentos de nível “superior” são mais onerosos (por exemplo, borracha e concreto).

Tabela 6. Vida útil estimada (em anos) em função do CEC. Fonte: TRB, 1998.

CEC	Asfalto	Madeira	Borracha	Concreto
1.000	15,0	28,0	30,0	30,0
5.000	6,5	13,0	18,6	24,0
10.000	4,8	10,9	16,7	20,2
25.000	2,5	8,1	14,7	16,4
50.000	1,3	6,6	13,5	14,1
75.000	1,1	5,8	12,5	12,5
100.000	1,0	5,0	12,0	11,0

Tabela 7. Diretriz geral de seleção de superfície. Fonte: Malloy *et al.*, 2014

Milhões de toneladas brutas	CEC por dia		
	0 a 50.000	50.000 a 100.000	100.000 ou mais
0 a 20	padrão	padrão	superior
20 ou mais	padrão	superior	superior

Valores elevados de recalques da passagem traduzem uma baixa capacidade de suporte da fundação, que geralmente é acompanhada de um mal projeto de drenagem. Portanto, nesse caso, todos os elementos são removidos e trocados por novos materiais, juntamente com a correção da drenagem e da geometria de interseção, conforme apresenta a Figura 28 (Malloy *et al.*, 2014).

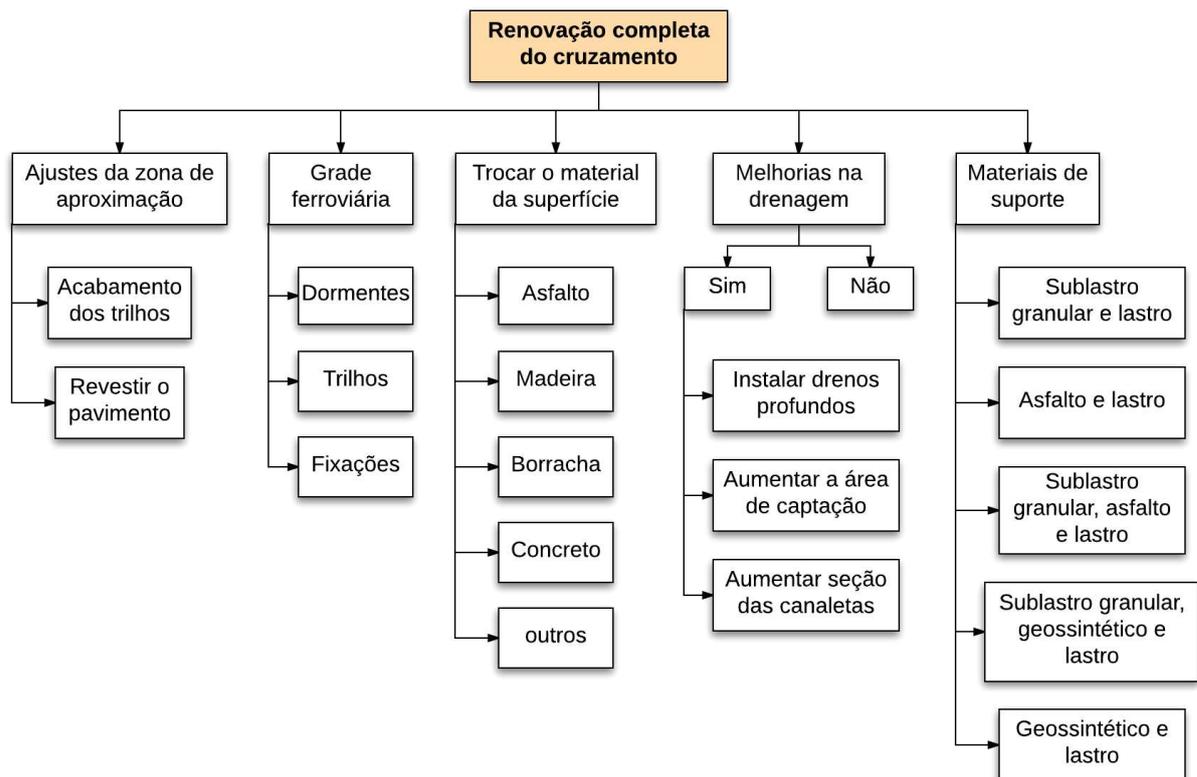


Figura 28. Diagrama de decisão para renovação completa do cruzamento. Fonte: Malloy *et al.*, 2014.

A instalação de componentes, como a superfície de cruzamento e o material de suporte subjacente, em combinação com o tamanho do trilho, o material de junção e o tratamento de drenagem, podem afetar significativamente o custo do procedimento de manutenção, bem como o desempenho a longo prazo de um cruzamento. Por esse motivo, é importante avaliar todas as alternativas que atendam às necessidades do cruzamento, pois o projeto escolhido deve oferecer a melhor combinação de custo e desempenho (FHWA, 2016; Malloy *et al.*, 2014).

Após realizada a manutenção no pavimento das passagens em nível, é necessário realizar inspeções periódicas para verificar seu estado de conservação e se as características permanecem conforme o projeto. Os dispositivos de drenagem devem ser conferidos e limpados quando necessário. Qualquer elemento que possa intervir no desempenho do cruzamento deve ser descartado, como solo/rocha, lastro contaminado e vegetação (Malloy *et al.*, 2014).

3. ESTUDOS DE CASO

3.1. COMPARATIVO ENTRE PLACAS DE POLÍMERO E DE CONCRETO

No Brasil, a grande maioria das passagens em nível são revestidas com material asfáltico, que deteriora rapidamente nas regiões próximas dos trilhos, gerando custos de manutenção e impactos para a operação ferroviária e tráfego da comunidade. Visando a busca de novas alternativas para melhoria desse cenário, a MRS instalou no ano de 2007 em locais específicos listados a seguir, superfícies de placas poliméricas e painéis de concreto pré-moldado. Um estudo foi realizado para comparar o desempenho de ambos pavimentos.

Os painéis de borracha foram instalados na PN Pinto de Moura, na cidade de Juiz de Fora, nos dias 10 e 11 de novembro de 2007, e foi a primeira aplicação de pavimento em módulos de borracha em PNs no Brasil. O tempo total de instalação foi de 21 horas, sendo que 7 horas foram reservadas para a manutenção da via permanente (substituição de trilhos, lastro, dormentes, fixações e correção geométrica da linha) e 14 horas para a instalação da superfície, conforme ilustra a Tabela 8 (Freitas 2010).

Além disso, cada placa pode ser removida em até 10 minutos, pois foi necessário realizar essa operação para correção do espaçamento dos dormentes e reposicionamento das fixações. As placas foram aplicadas por quatro operários e dispensa o uso de equipamentos, apenas utiliza-se uma chave especial para aperto das placas por atirantamento (Carmo & Campos, 2009; Freitas, 2010).

Tabela 8. Cronograma simplificado de instalação. Fonte: Freitas, 2010.



O pavimento polimérico ofereceu uma superfície segura e estável para o tráfego de veículos e pedestres, pois as placas se mantiveram niveladas e uniformes no tempo analisado. Além disso, a borracha oferece propriedade antiderrapante para a superfície, mesmo em condições de chuva. De acordo com o fabricante o material possui durabilidade de 15 anos, a matéria-prima são pneus de borracha reciclados, e o pavimento pode ser reaproveitado para fabricar novos painéis com o fim da vida útil. O custo da PN de borracha é aproximadamente quatro vezes superior ao pavimento asfáltico (Carmo & Campos, 2009; Freitas, 2010). A Figura 29 apresenta detalhes dos elementos do pavimento polimérico.



Figura 29. Elementos e esquema da aplicação das placas de borracha. Fonte: KRAIBURG, 2010a.

A Figura 30 ilustra as principais etapas construtivas da instalação do pavimento polimérico na PN Pinto de Moura, sendo elas: troca dos materiais da superestrutura, nivelamento da via, preparação da fundação da guia de concreto, instalação das capas de proteção das fixações, aplicação e aperto das placas (KRAIBURG, 2008).



Figura 30. Montagem e instalação. Fonte: KRAIBURG (2008).

A instalação do piso de concreto (Figura 31) foi realizada na PN Benjamin Constant, na cidade de Juiz de Fora, nos dias 14 e 15 de novembro de 2007. O tempo de instalação do pavimento também foi de 14 horas, mas requisitou a interrupção durante todo o período dos tráfegos rodoviário e ferroviário, devido a utilização de guindaste. Para mover cada placa é necessário entre 5 e 10 minutos, após o posicionamento do guindaste. O custo do material é aproximadamente três vezes superior que o asfalto (Carmo & Campos, 2009).



Figura 31. PN Benjamin Constant com placas de concreto pré-moldado. Fonte: Zangerolamo, 2015.

A durabilidade das placas, segundo o fabricante, é de 15 anos. Contudo, nos primeiros dias já foram observadas movimentações das placas. Com o tempo houve desnivelamento e quebra da superfície (Figura 32), sendo que em 08 de janeiro de 2008 uma das placas teve que ser removida em caráter emergencial, devido movimentação excessiva. Notou-se que o nivelamento não se manteve e o risco de acidentes rodoviários e ferroviários era iminente, portanto em 23 de maio de 2008 as placas foram removidas e substituídas por pavimento asfáltico (Carmo & Campos, 2009).



Figura 32. Movimentação e quebra das placas de concreto. Fonte: Carmo & Campos, 2009.

O piso de borracha confere aumento da segurança, baixa necessidade de manutenção, a diminuição do impacto para a população e a melhoria da imagem da companhia ferroviária perante a comunidade. Apresenta alta vida útil e agilidade no processo de manutenção da via (Carmo & Campos, 2009).

Foram instaladas no total três passagens de borracha na malha da MRS: PN Pinto de Moura em Juiz de Fora (Nov/2007), PN Tiradentes em Barra do Piraí (2008) e PN Édén em São João de Meriti (2011). Até a data de publicação desta monografia, nenhum dos cruzamentos citados necessitou trocar algum de seus componentes, ou seja, não houve realização de manutenção corretiva desde a aplicação.

3.2. ANÁLISE DE DESEMPENHO DO PAVIMENTO POLIMÉRICO

Como a PN Pinto de Moura é pioneira na aplicação de placas de borracha no Brasil, esse cruzamento se caracteriza como o melhor estudo de caso para verificar e analisar a viabilidade técnica do pavimento polimérico para cruzamentos rodoferroviários brasileiros. Com tempo de serviço de quase 10 anos, a passagem foi inspecionada nos meses de junho e agosto de 2017. As fotos da Figura 33 à Figura 35 foram tiradas no dia 23/06/2017, e as fotos da Figura 36 à Figura 39 são do dia 18/08/2017.

A Figura 33 evidencia surgimento de buracos na pista, tanto no trecho de transição entre os pavimentos asfáltico e polimérico, quanto na zona de aproximação da rodovia. Há também movimentação (Figura 34), desnivelamento e deformação (Figura 35) das placas de borracha. As causas são atribuídas às grandes deformações sofridas pelo subleito, que gerou recalques na fundação do cruzamento (Malloy *et al.*, 2014).



Figura 33. Deformação do asfalto próximo da superfície da PN. Fonte: O autor.



Figura 34. Movimentação das placas de borracha. Fonte: O autor.

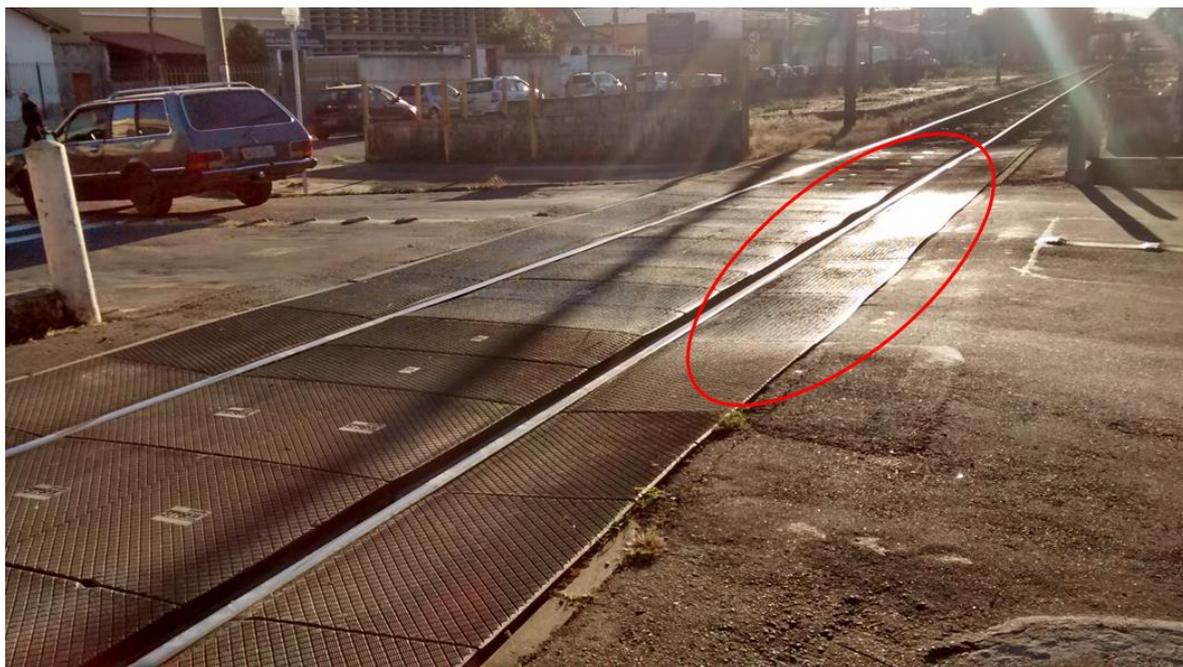


Figura 35. Desnívelamento das placas de borracha. Fonte: O autor.

Já podem ser observadas rachaduras tanto no centro (Figura 36) quanto na extremidade (Figura 37) da superfície da PN. A Figura 37 e Figura 38 também destacam, em amarelo, o acúmulo de água sob condições de chuva devido a deformação das placas e do asfalto, respectivamente.



Figura 36. Rachaduras nas placas. Fonte: O autor.

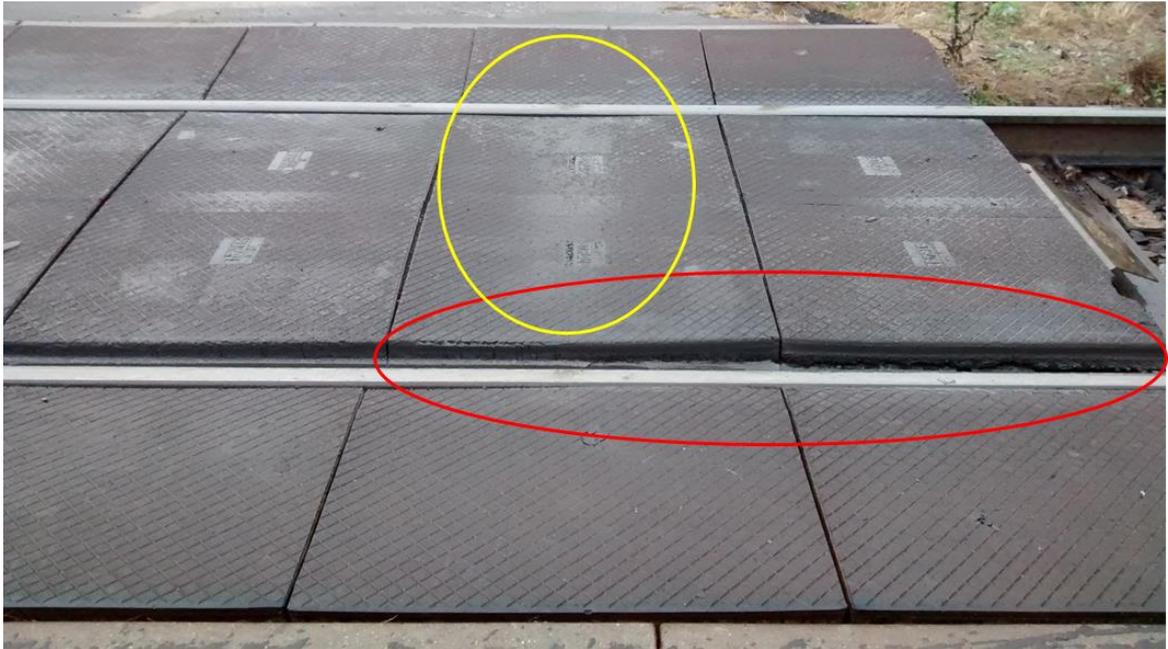


Figura 37. Acúmulo de água e separação das placas. Fonte: O autor.



Figura 38. Acúmulo de água na zona de aproximação da rodovia. Fonte: O autor.

A Figura 39 destaca um triângulo amarelo que representa a variação de nível entre as rodas do veículo, no momento da transposição da PN. O triângulo, portanto, ilustra a diferença de nível entre a superfície da passagem e a zona de aproximação da rodovia, causada pelas deformações excessivas do pavimento.

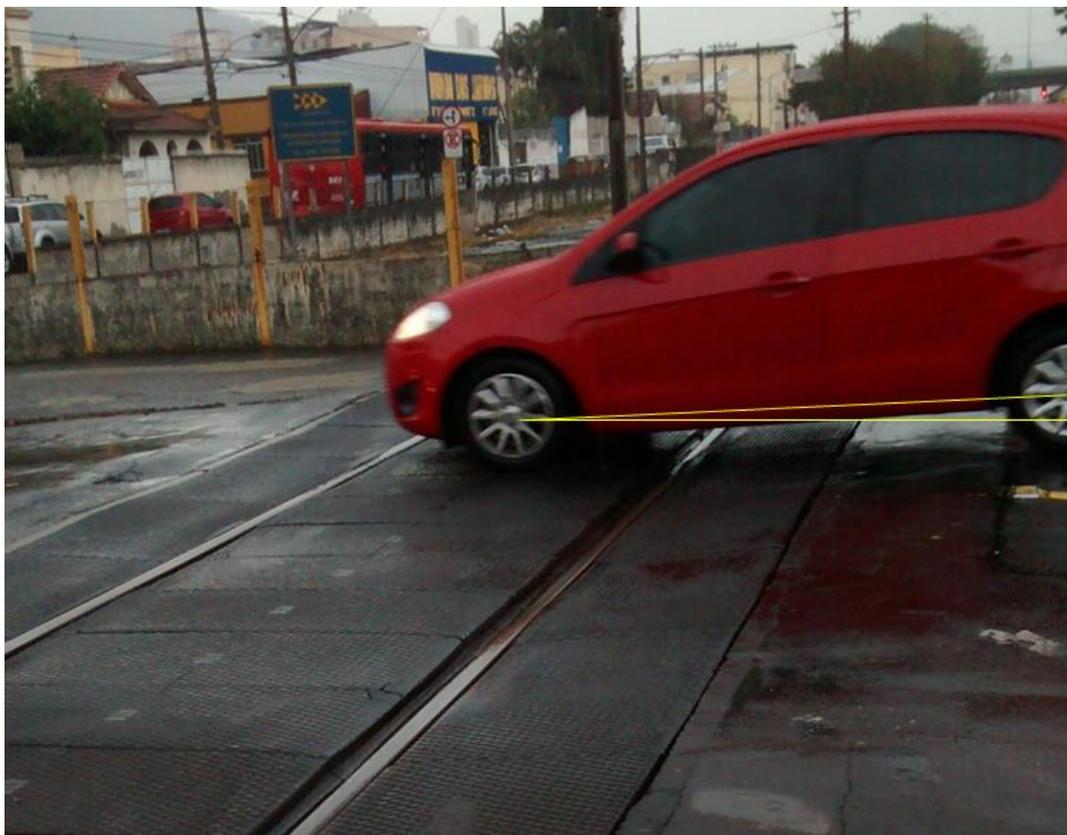


Figura 39. Destaque da diferença de nível no cruzamento. Fonte: O autor.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia consiste em avaliar a frequência de manutenção nas PNs urbanas de asfalto da MRS Logística, através de dados históricos do ano de 2010 a 2017, diferenciando e detalhando os componentes mantidos entre superestrutura e superfície do cruzamento. Dessa forma, obtém-se o ciclo de manutenção referente a cada PN, o que possibilita criar o Custo do Ciclo de Vida (CCV), ou mais conhecido como *Life Cycle Cost* (LCC), para as passagens em nível asfálticas.

Por fim, com os dados de durabilidade de cada material, foi criada uma ferramenta em planilhas eletrônicas capaz de fornecer o cálculo de viabilidade econômica de pavimento das passagens em nível em estudo, com base no histórico de manutenção, com fator de escolha rigoroso e objetivo. A Figura 40 ilustra um diagrama que resume as etapas realizadas.

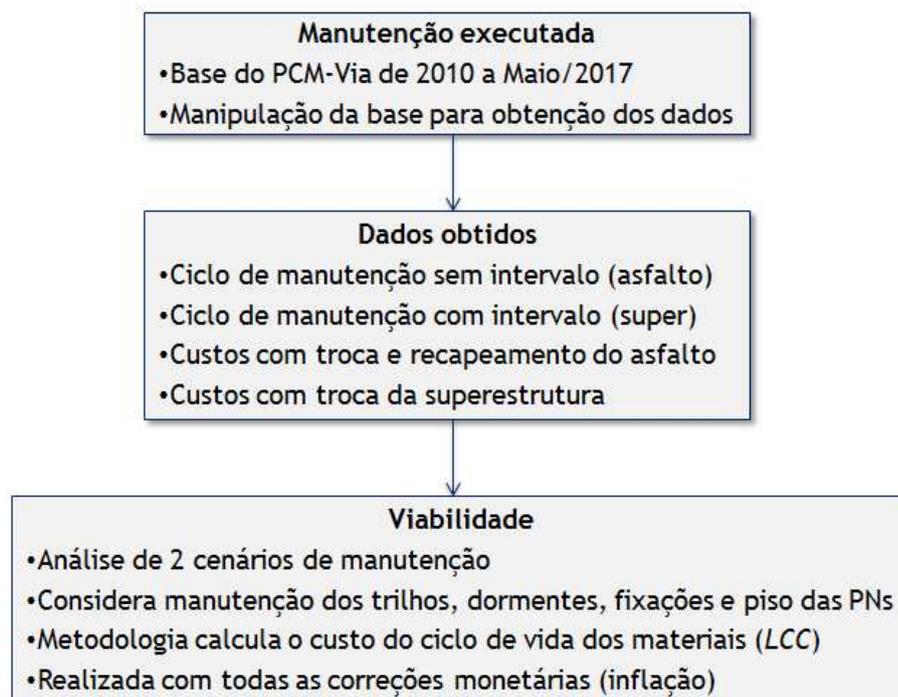


Figura 40. Diagrama com resumo da metodologia adotada. Fonte: O autor.

Antes de prosseguir com a execução da metodologia, foram organizadas e listadas todas as informações das travessias que existem no Sistema Informatizado para Gestão de Interferências. Foram analisadas todas as PNs públicas urbanas de asfalto da malha da MRS Logística (estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo), que totalizam 160 passagens em nível. As informações relacionadas com a geometria, circulação e identificação dos cruzamentos foram elencadas, conforme mostra a Tabela 9.

Tabela 9. Dados levantados para alimentar o sistema. Fonte: O autor.

Localização	Características físicas	Características de circulação
Nome da PN	Nº de vias férreas atravessadas	Grupo da travessia
Quilômetro ferroviário (Km)	Rampa no local (%)	Tipo de via férrea
Corredor (trecho ferroviário)	Comprimento da PN (m)	Classe de via
Pátio	Largura da PN (m)	VMA no trecho (km/h)
Coordenação	Via em nível? (S/N)	Circulação diária média de trens - 07h / 19h
Denominação da via pública	Ângulo da travessia (graus)	Circulação diária média de trens - 19h / 07h
Município	Rampa máxima de aproximação da via (%)	MTBT ao ano (2014-2016)
UF	Comprimento da rampa da via (m)	Trânsito de pedestres
Coordenadas geográficas	Raio de curva (m)	FPA5 2011 (calculado)
		FPA5 (típico)
		Momento de circulação (2011-2014)

Para correlacionar quantas manutenções cada passagem recebeu, foi preciso identificá-las individualmente. Algumas possuíam um código único associado, o que facilitou a busca. Entretanto, a grande maioria não foi referenciada pelo seu código, o que dificultou a identificação das PNs. Para estas últimas, foi preciso correlacionar a região e o quilômetro ferroviário em que a manutenção foi realizada, através de uma estrutura criada na plataforma de programação do Microsoft Excel, conhecida como *Visual Basic for Applications* (VBA).

Contudo, vale ressaltar que muitas passagens que sofreram manutenção não foram referenciadas por código ou pela região e o quilômetro ferroviário. Logo, metade dos dados não puderam ser aproveitados, o que fornece ao estudo uma característica extremamente conservadora e favorável à viabilidade econômica.

De acordo com os serviços que são executados nas passagens, as informações de manutenção foram filtradas e separadas em três situações: recapeamento do asfalto, repavimentação da passagem e troca completa da superestrutura. Tanto pela base de dados, quanto por informações fornecidas pelas equipes de manutenção, a média aproximada de troca de asfalto nas PNs é de uma vez a cada 2 anos.

O ciclo de manutenção informa quantas manutenções ocorreram no período avaliado, que foi dividido em ciclos de manutenção que geram intervalo para a operação ferroviária, e os que não geram intervalo. Esse parâmetro é importante para verificar o nível de impacto operacional causado na ferrovia e na comunidade. A atividade de recapeamento asfáltico se enquadra como manutenção sem intervalo, enquanto repavimentação e troca dos componentes da superestrutura necessitam de intervalos para execução dos serviços.

Para o cálculo do custo associado às três atividades de manutenção elencadas, foi preciso estimar a quantidade de pavimentação asfáltica e dos componentes da superestrutura ferroviária em uma passagem em nível. A Tabela 10 mostra os quantitativos por metro, fornecidos pela equipe de campo. Os preços dos materiais, dos serviços e da mão de obra foram cedidos pela concessionária ferroviária.

Tabela 10. Quantitativo de materiais e serviços, por metro de PN. Fonte: O autor.

Descrição	Unid	Qtd./m de PN
Recapeamento asfalto	Metros	1,00
Manutenção de PN diurna (MDO)	Metros	1,00
TRILHO 68	Tonelada	0,29
DORMENTE DE EUCALIPTO TRATADO, BITOLA LARGA	Unidade	1,85
PLACA DE APOIO 4 FUROS TR 68	Unidade	4,00
TIREFOND 24 MM NÃO GALVANIZADO	Unidade	14,81
ARRUELA DUPLA DE PRESSÃO	Unidade	16,00
GRAMPO ELÁSTICO PANDROL E2009-A	Unidade	8,00
Trilho Tr-68 Reemprego (Contra-Trilhos)	Tonelada	0,48
Tirefonds 22 mm(7/8") (fixação contras)	Unidade	16,44
PEDRA BRITADA PARA LASTRO (T)	M ³	1,33
SERVIÇO DE SOLDA ALUMINOTÉRMICA COM TRANSPORTE DA CONTRATADA	Unidade	0,44
CADINHO DESCARTÁVEL PARA SOLDAGEM ALUMINOTÉRMICA - RAILTECH	Unidade	0,44
PASTA VEDAÇÃO P/SOLDA RAILTECH	Unidade	0,22
KIT DE SOLDA RAILTECH TR-68	Unidade	0,44
ACENDEDOR P/SOLDA SKV THERMIT	Unidade	0,44

Com o quantitativo, o preço e o número de manutenções realizadas, obtém-se o custo associado a cada atividade. O custo do recapeamento foi considerado como 50% do valor do asfalto, pois nesse serviço geralmente utiliza-se uma quantidade inferior de asfalto, quando comparado com o serviço de repavimentação do cruzamento. O recapeamento é baseado em metros lineares pois está vinculado a um padrão de cálculo realizado pela companhia. Vale destacar que a atividade de troca da superestrutura também contempla o serviço e custo da repavimentação asfáltica.

Adotou-se que o serviço de manutenção da superestrutura substitui todos os componentes, independentemente de suas condições individuais de desgaste. Essa premissa foi adotada pois é um procedimento utilizado pelas equipes de campo. O objetivo é maximizar a durabilidade da passagem, além de aproveitar o intervalo concedido pela operação ferroviária, que geralmente é complexo de se conseguir.

O somatório do custo de cada serviço fornece o valor total do custo de manutenção para cada cruzamento asfáltico. Como os valores foram divididos por ano, foi possível realizar as correções monetárias devido a inflação. Os valores dos índices de preços foram obtidos pela “Calculadora do cidadão” no site do Banco Central do Brasil (BCB, 2017).

4.2. PRIORIZAÇÃO DE CRUZAMENTOS CRÍTICOS

A priorização foi baseada no tráfego, custo total de manutenção e número de intervalos, para cada passagem no período estudado. O tráfego foi representado pelo Momento de Circulação (MC), que é um parâmetro normatizado que quantifica a intensidade de utilização nos cruzamentos, por veículos ferroviários, veículos rodoviários e pedestres (ABNT, 2009). O MC foi calculado entre os anos de 2011 e 2014 através de uma consultoria realizada nesse período.

Criou-se uma lista prioritária de PNs para cada parâmetro, ou seja, em ordem crescente de valores de MC, custo e quantidade de intervenções. Considerou-se as 50 primeiras passagens da lista, que representam elevados valores de MC, custos e quantidades de intervalos (Tabela 11). As listas foram confrontadas e os cruzamentos que se repetiram pelo menos uma vez nas três listas foram marcados, encontrando 28 PNs críticas.

Tabela 11. PNs prioritárias por parâmetro. Fonte: O autor.

TOP 50 MC		TOP 50 Custo		TOP 50 Intervenções	
Nome	MC	Nome	Custo total	Nome	Manut. c/ intervalo
Eng. Pedreira	1º maior	Febem	1º maior	Arará	1º maior
PN0021+030	2º maior	Arará	2º maior	Frigorífico Suzano	2º maior
Cancela	3º maior	Nelson Viana	3º maior	Três Porteiras	3º maior
·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·
Capitão Carlos de M.	50º maior	Ary Parreira	50º maior	Vila Jurandi	50º maior

Para criar o critério de prioridade, foi montada uma matriz com essas passagens críticas e atribuídos diferentes pesos para cada parâmetro. O MC recebeu 0,5 de valor de peso, o custo de manutenção valor de 0,3 e o número de intervalos recebeu 0,2. Dessa maneira, ao se multiplicar o valor de cada parâmetro pelo seu peso, obtêm-se o valor do fator ponderador, este que irá determinar as PNs críticas prioritárias (Figura 42). A classificação descrita foi adotada para priorizar as condições, o custo e a manutenção das PNs.

$$\text{Fator ponderador} = (MC) \times 0,5 + (\text{Custo}) \times 0,3 + (N^{\circ} \text{ intervenções}) \times 0,2$$

Figura 42. Obtenção do fator ponderador. Fonte: O autor.

A Tabela 12 ilustra a matriz de prioridade gerada, com referência do nome e local da PN e o fator ponderador calculado de acordo com os pesos adotados. Quanto maior o valor do fator ponderador, maior é a necessidade de manutenção da passagem.

Tabela 12. Matriz de prioridade das passagens críticas. Fonte: O autor.

Fator ponderador	Estado	Nome
2,05	RJ	Nelson Viana
1,34	RJ	DOMINGOS MARIANO
1,45	RJ	PN da Estação
1,44	RJ	Saudade
0,89	RJ	DUQUE DE CAXIAS - Pr
2,07	RJ	Cancela
0,73	RJ	Parque da Cidade
0,93	SP	Cragea
1,02	SP	César de Souza
0,91	RJ	Santana de Barra
1,08	RJ	Vargem Grande
1,63	RJ	Da Rodoviária
0,67	MG	Rodoviária
1,24	RJ	PN do Moinho
1,41	RJ	Amendoeira
1,12	SP	Gregório Costa
1,15	RJ	Morsing
0,71	RJ	R. Antônio Carlos (Bo
0,43	RJ	São Mateus
1,07	MG	Mariano
0,82	MG	Dias de Souza
0,69	RJ	Santa Helena
0,67	MG	JK
0,58	RJ	PN da Estação
0,46	MG	Bairro Araújo
0,51	RJ	Ary Parreira
0,47	SP	José Bonifácio
0,47	RJ	Vila Isabel

4.3. VIABILIDADE ECONÔMICA

A análise de LCC é um método que prioriza a tomada de decisão através da avaliação econômica e comparação de estratégias alternativas. Uma vez que a via permanente ferroviária tem uma longa vida útil, e os investimentos são onerosos, as decisões precisam considerar os impactos de custos a longo prazo, desde a sua concepção, fabricação e uso operacional, até o fim da vida útil. Um regime de manutenção preventiva pode adiar as renovações e reduzir os impactos no tráfego ferroviário (Esveld, 2001; Tzanakakis, 2013).

A viabilidade relacionou o custo inicial de investimento (capital) com os custos inerentes de manutenção durante toda a vida útil das PNs. Como os fluxos de caixa ocorrem durante diferentes anos operacionais, eles são descontados ao ano, em relação ao ano de início do investimento. Com a taxa de desconto, os pagamentos de juros e os rendimentos durante o período de construção e operação são estimados (Esveld, 2001).

Foi preciso calcular o preço de investimento da PN de borracha para cada passagem. Para tal, o fornecedor informou o valor do preço linear da PN polimérica, que quando multiplicado pelo comprimento da passagem e pelo número de vias férreas atravessadas, obtém-se o preço dos materiais. Como as placas são compradas do exterior, multiplicou-se ainda pela taxa de câmbio e pela taxa de imposto adotadas pela companhia.

Ao somar os custos com materiais, mão de obra e aluguel dos equipamentos, adquire-se o preço final da PN de borracha (Figura 43).

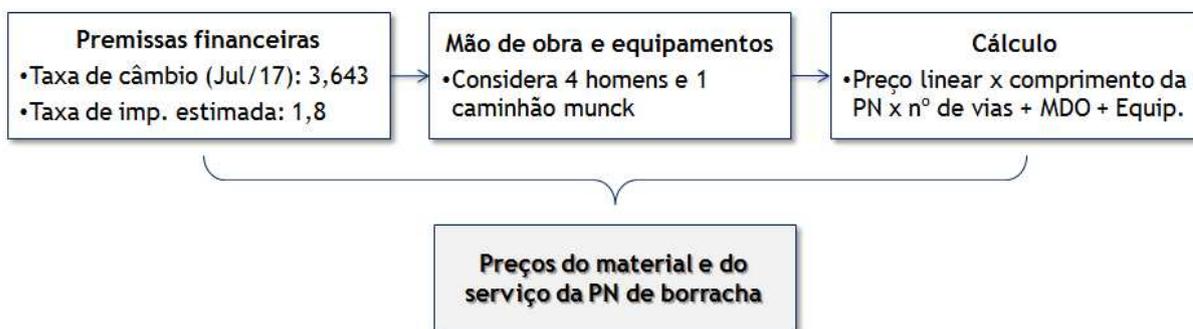


Figura 43. Etapas para o cálculo do preço da PN de borracha. Fonte: O autor.

Foi calculado o custo de manutenção em relação ao período previsto de vida útil da passagem polimérica, com o somatório do preço dos materiais (trilhos, dormentes, fixações, nivelamento/alinhamento da via e aperto das placas) e do serviço. O custo do aperto das placas foi estimado em 5% do valor total da PN.

Comparou-se, individualmente, o custo de manutenção da PN de asfalto com a PN de borracha, para o mesmo período. Dessa forma, para obter um cenário de viabilidade econômica mais favorável, foram considerados no estudo apenas os cruzamentos que apresentavam valor da PN de borracha 50% mais barato que a PN de asfalto. Essas passagens foram listadas com a respectiva prioridade (com base no fator ponderador), seu nome e a localização (Tabela 13).

Tabela 13. Matriz de prioridade das passagens viáveis. Fonte: O autor.

Prioridade	PNs Viáveis	Coordenação
1	Cancela	FAR
2	Nelson Viana	FBJ
3	Da Rodoviária	FBP
4	PN da Estação	FPL
5	Saudade	FPL
6	Amendoeira	FBA
7	DOMINGOS MARIANO	FPL
8	PN do Moinho	FBJ
9	Morsing	FBP
10	Gregório Costa	FTA
11	Vargem Grande	FBP
12	Mariano	FFB
13	César de Souza	FPI
14	Cragea	IPA
15	Santana de Barra	FBP
16	DUQUE DE CAXIAS - Praça da Liberdade	FPL
17	Parque da Cidade	FPL
18	R. Antônio Carlos (Bombeiros)	FBJ
19	Santa Helena	FBP
20	Rodoviária	FBC
21	JK	FFB

Considerando todas as passagens da lista anterior, obteve-se o preço total das PNs de borracha, o custo anual com manutenções das PNs de asfalto e os custos com manutenções das PNs de borracha. Note que, no caso de PN de asfalto, o custo de manutenção seria gasto de forma gradativa, portanto o valor foi distribuído anualmente, correspondendo um cenário monetário mais realista, pois a inflação também é compensada por ano.

Foram calculadas quatro alternativas para analisar a viabilidade econômica, considerando dois fornecedores de PNs poliméricas e dois cenários de manutenção. O primeiro fornecedor garante uma durabilidade de 15 anos e o segundo de 30 anos para as placas poliméricas. O primeiro cenário corresponde a utilização de dormentes de madeira, que possuem vida útil média de 5 anos, e o segundo cenário simula o uso de dormentes de concreto, com durabilidade média de 30 anos.

As placas do fornecedor 1 são obtidas pela reciclagem de pneus de borracha e, portanto, constitui-se de elastômero, que possui alta deformação elástica e cadeias reticuladas originadas por vulcanização. O fornecedor 2 realiza processo de reciclagem de plásticos para adquirir placas de PEAD (polietileno de alta densidade), material polimérico termoplástico com boa ductilidade (Askeland & Phulé, 2008).

As manutenções da PN de borracha foram alocadas de acordo com a durabilidade prevista para os materiais da superestrutura (dormentes, fixações e trilhos). Para os trilhos, a vida útil foi correlacionada com a localidade, pois diferentes locais apresentam diferentes cargas por eixo aplicadas. Estes dados foram fornecidos pela concessionária ferroviária. As atividades de aperto das placas e alinhamento/nivelamento da via são realizadas nas trocas tanto dos dormentes quanto dos trilhos.

Com a intenção de visualizar a evolução do custo de implementação e de manutenção, o Gráfico 3 e o Gráfico 4 indicam o custo total acumulado das alternativas adotadas durante o período do projeto, para os fornecedores 1 e 2 (PNs de polímero), respectivamente. Os números indicados foram convertidos para valor presente, e o primeiro valor das PNs poliméricas indica o montante de investimento. Com o passar dos anos e o desgaste dos materiais, há necessidade de manutenções e, portanto, o último valor de cada alternativa reflete o gasto acumulado total dos ativos. Os cenários de manutenção estão indicados na Tabela 15.

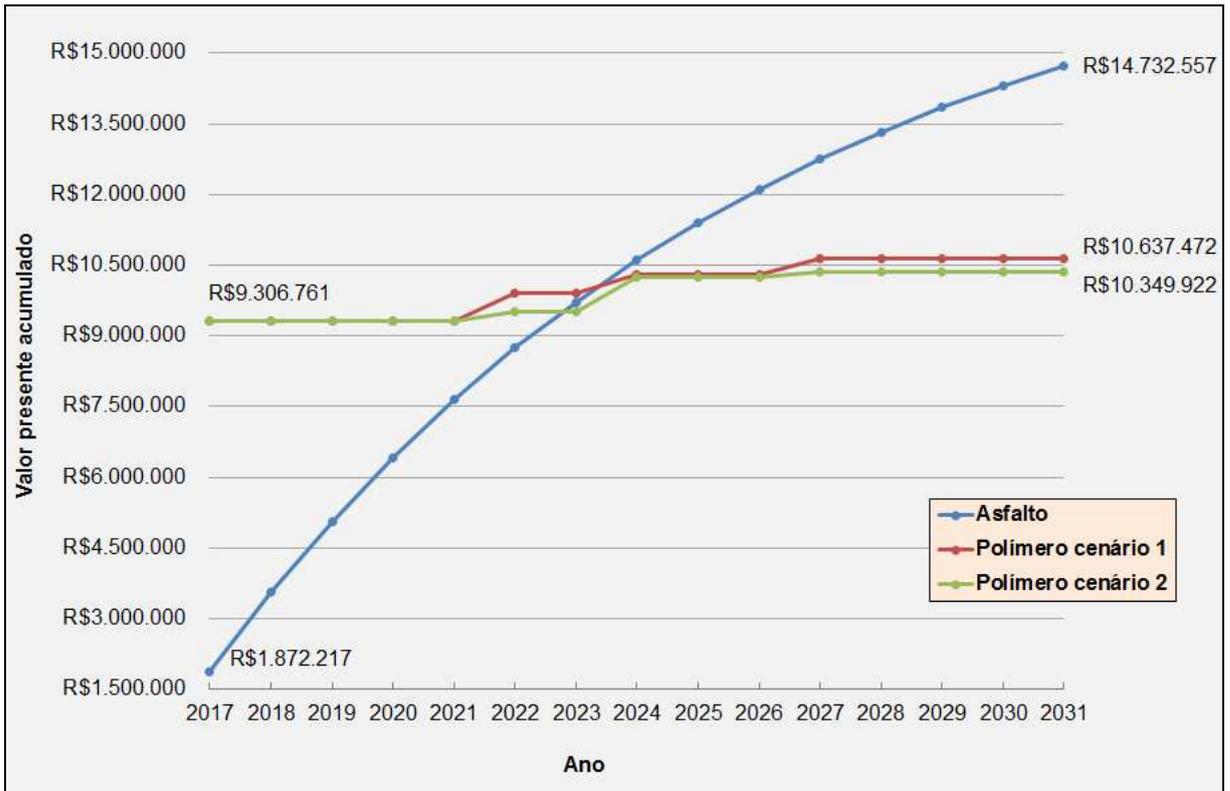


Gráfico 3. Custo acumulado total das alternativas de pavimentação - Fornecedor 1. Fonte: O autor.

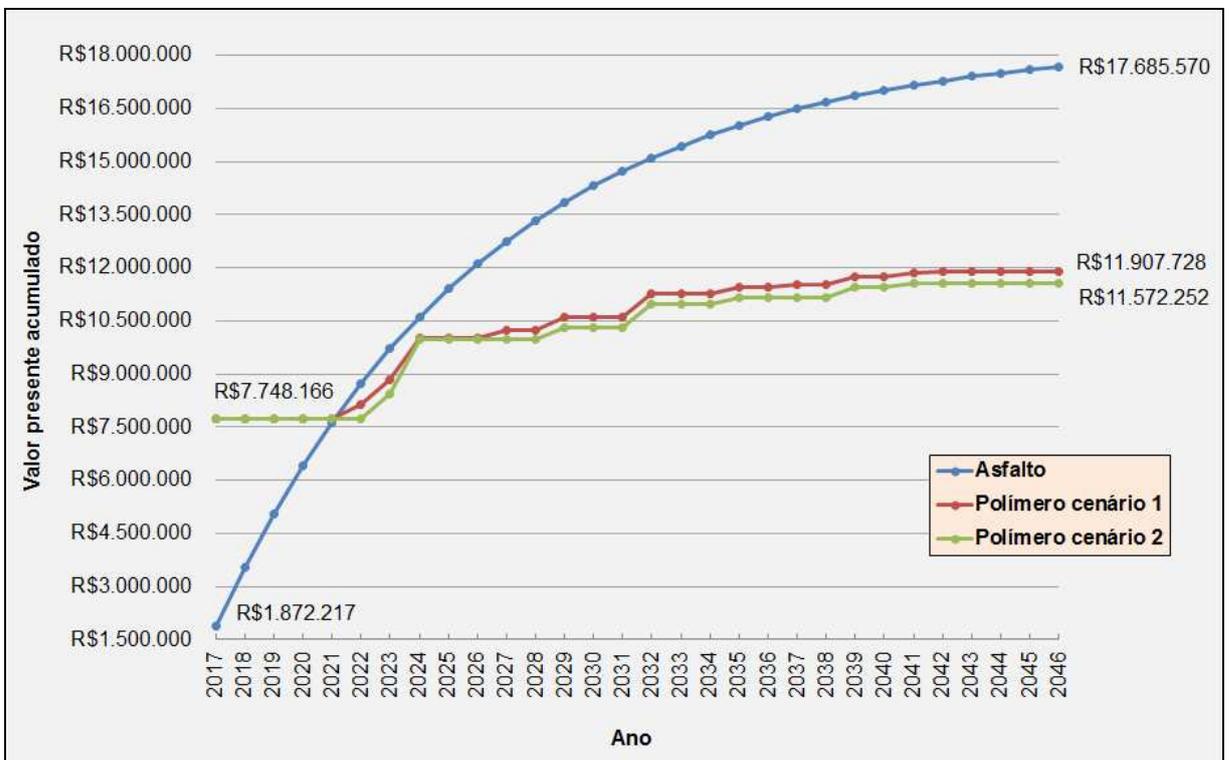


Gráfico 4. Custo acumulado total das alternativas de pavimentação - Fornecedor 2. Fonte: O autor.

Contudo, para avaliar o impacto real do investimento deve-se considerar a incidência dos impostos ao longo do período, além de calcular e avaliar os indicadores de viabilidade financeira. Estes foram obtidos pela utilização da “Planilha de Investimentos” da companhia, atualizada e fornecida pelo Escritório de Projetos.

Ao inserir os dados do investimento (preço das placas), a receita ou redução de custo (custo anual de manutenção de PNs de asfalto) e os custos incrementais (custos de manutenção de PNs de borracha), a Planilha de Investimentos calcula de maneira automatizada a depreciação, o lucro operacional e o fluxo de caixa operacional, calculando por fim os indicadores citados (Figura 44). A depreciação é calculada para encontrar os valores dos impostos, que são descontados do lucro operacional. Como a depreciação é um item não monetário, seu valor é adicionado para considerar o cálculo do fluxo de caixa operacional.

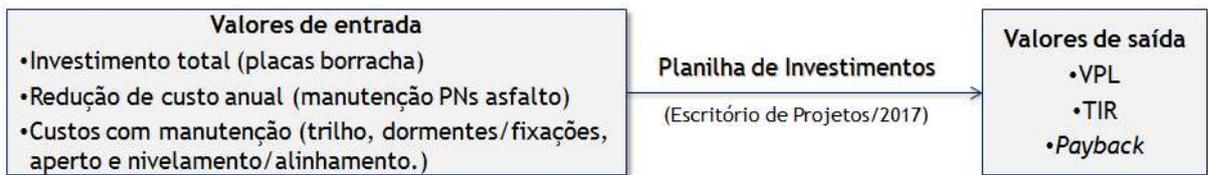


Figura 44. Etapas para obtenção dos parâmetros de viabilidade econômica. Fonte: O autor.

A Tabela 14 indica os valores de entrada utilizados, enquanto a Tabela 15 indica os valores de saída obtidos.

Tabela 14. Valores de entrada por fornecedor. Fonte: O autor.

Fornecedor 1 (15 anos)			Fornecedor 2 (30 anos)		
Qtd. PNs contempladas	21		Qtd. PNs contempladas	21	
Total do investimento	R\$	9.306.761	Total do investimento	R\$	7.748.166
Manutenção PN asfalto/ano	R\$	1.872.217	Manutenção PN asfalto/ano	R\$	1.872.217
Manut. Cenário 1	R\$	681.696	Manut. Cenário 1	R\$	681.696
Manut. Cenário 2	R\$	730.142	Manut. Cenário 2	R\$	730.142
Manut. Trilhos	R\$ 833.485	R\$ 328.313	Manut. Trilhos	R\$ 2.500.455	R\$ 1.313.252
Anos de manutenção	2024	2022 e 2027	Anos de manutenção	2024, 2032 e 2039	2023, 2029, 2035 e 2041

Tabela 15. Indicadores de viabilidade obtidos por cenário de manutenção. Fonte: O autor.

	Fornecedor 1 invest.: R\$ 9,3 MM	Fornecedor 2 invest.: R\$ 7,7 MM
<p>Cenário 1</p> <ul style="list-style-type: none"> •Dormentes de madeira (eucalipto tratado) •Manutenção a cada 5 anos = dormentes, fixações, nivelamento/ alinhamento e aperto das placas •Custo da manutenção = 5% preço PN + materiais da superestrutura + serviço 	<ul style="list-style-type: none"> •VPL: R\$ 640 mil •TIR: 13% •Payback: 8 anos 	<ul style="list-style-type: none"> •VPL: R\$ 2,1 milhões •TIR: 16% •Payback: 6 anos
<p>Cenário 2</p> <ul style="list-style-type: none"> •Dormentes de concreto (monobloco protendido) •Manutenção a cada 7,5 anos = fixações e aperto das placas •Custo da manutenção = 5% preço PN + materiais da superestrutura + serviço 	<ul style="list-style-type: none"> •VPL: R\$ 830 mil •TIR: 13% •Payback: 7 anos 	<ul style="list-style-type: none"> •VPL: R\$ 2,3 milhões •TIR: 17% •Payback: 6 anos

O Valor Presente Líquido (VPL) é o mais útil e um dos critérios mais utilizados para determinar se um projeto deve ser aceito. Os custos e benefícios que são recebidos em períodos futuros são descontados ou desinflados por algum fator, geralmente utiliza-se a taxa de desconto. Portanto, os custos futuros são convertidos para o seu equivalente atual. Quando possui valor positivo indica que o investimento gerará retorno econômico (Tzanakakis, 2013).

A Taxa Interna de Retorno (TIR) mostra a rentabilidade em comparação com estratégias alternativas de investimento ou manutenção. Representa a taxa de desconto quando, em um determinado período, os valores recebidos e os valores gastos se igualam, ou seja, quando o VPL se torna zero. Valores maiores de TIR são mais favoráveis para o investimento (Esveld, 2001; Pereira & Almeida, 2015). *Payback* indica o tempo de retorno necessário para obter o investimento inicial. O investimento com o menor tempo de retorno é o mais rentável (Tzanakakis, 2013).

Para comparar o impacto gerado pelas PNs de asfalto e de borracha, foram calculados alguns indicadores para as 21 PNs incluídas no estudo de viabilidade econômica. Para tal considerou-se o cenário 1 de manutenção, pois os dormentes de madeira são mais usuais, e o fornecedor 1, o mesmo que aplicou as placas na PN Pinto de Moura em 2007 e, portanto, com viabilidade técnica e confiabilidade garantidos e testados.

O Gráfico 5 mostra quantas intervenções (manutenções que geraram intervalos) ocorreram em cada PN de asfalto no período que os dados foram obtidos. Já o Gráfico 6, representa quantas intervenções seriam necessárias, durante toda a vida útil, caso fossem instaladas as PNs poliméricas.

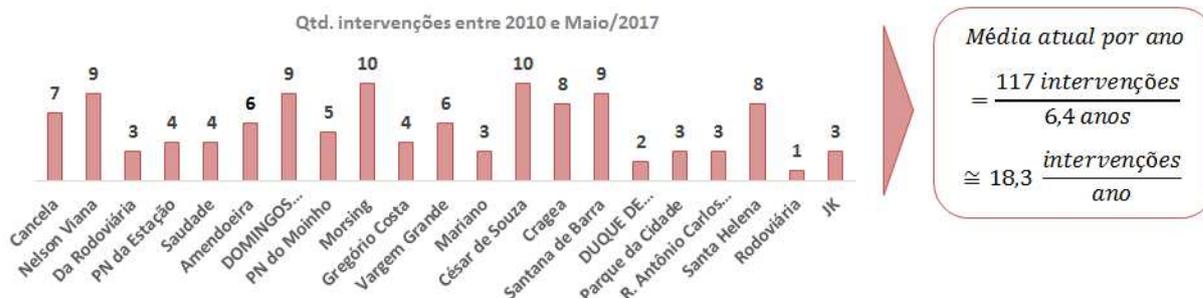


Gráfico 5. Quantidade de intervenções nas PNs asfálticas. Fonte: O autor.



Gráfico 6. Quantidade de intervenções nas PNs poliméricas. Fonte: O autor.

Foi calculado também o tempo total de intervalo necessário para instalar e manter, durante um período de 15 anos. Foi considerado um tempo de 6 horas para intervenção das PNs de asfalto e borracha (tempo estimado pela equipe de campo), e no caso da PN de borracha, também foi considerado tempo de instalação de 20 horas (informação obtida pelo estudo de caso). As informações estão contidas no Gráfico 7 e Gráfico 8.



Gráfico 7. Tempo de intervalo total nas PNs asfálticas. Fonte: O autor.



Gráfico 8. Tempo de intervalo total nas PNs poliméricas. Fonte: O autor.

5. ANÁLISES E DISCUSSÕES

Observou-se em campo que a componente horizontal do carregamento dos veículos rodoviários é mais intensa. Ademais, o pavimento ferroviário é dimensionado, majoritariamente, para resistir esforços verticais. Entretanto, com o desgaste, deformação, e posterior desnivelamento das PNs, a carga horizontal, devido os veículos rodoviários, aumenta e se potencializa, elevando o desgaste da estrutura.

Observa-se que apenas o volume de tráfego ferroviário influencia no modo de falha da superfície da PN (Tabela 3). Todavia, carregamento imposto pelos veículos rodoviários afetam de forma indireta, pois aumentam o desnivelamento e desalinhamento da superestrutura, o que causa maiores irregularidades e maior desgaste da PN com o tráfego dos veículos ferroviários.

O recapeamento realizado nas PNs não necessita de intervalos da operação ferroviária, pois a compactação é realizada de forma manual. Todavia, vale ressaltar que a compactação é mais eficiente quando executada por rolo compactador, que necessita de intervalo, por garantir melhoria nas características físicas do pavimento e aumentar a vida útil.

Além da desvantagem das PN asfálticas se deteriorarem rapidamente, os cruzamentos monolíticos não permitem o esmerilhamento dos trilhos – atividade que reduz o desgaste e aumenta a durabilidade dos trilhos, ao reduzir as imperfeições superficiais e, conseqüentemente, diminuindo o impacto da carga dos trens. As PNs modulares – como a borracha – permitem o esmerilhamento, o que possibilita maior vida útil dos trilhos.

A aplicação de sublastro asfáltico no Brasil ainda é embrionária, a qual foi pioneira no trecho de Santos (SP) na malha da MRS em abril de 2017 (Figura 45). Essa técnica deve ser mais explorada, estudada e aplicada em território nacional, não só em linhas convencionais, mas principalmente nos elementos de transição com mudança de rigidez, como na entrada e saída de pontes/viadutos, AMVs, ATVs e nos cruzamentos rodoferroviários, devido aos excelentes resultados obtidos no exterior.



Figura 45. Primeira aplicação de sublastro asfáltico na malha ferroviária brasileira. Fonte: MRS, 2017.

Os autores Rose & Malloy (2014) analisaram diversas passagens que receberam sublastro asfáltico e a maioria está em boas condições, independente do material da superfície adotado, com tempo de serviço mínimo entre 10 e 15 anos, sendo que algumas atingiram mais de 30 anos. Nenhuma delas apresentaram recalque e bombeamento de finos. Diversos departamentos estaduais de transporte norte-americanos estão utilizando camada de sublastro asfáltico nos cruzamentos rodoferroviários, principalmente nos locais que possuem elevada carga por eixo, fraco suporte e recalques na fundação.

Os estudos de Rangel *et al.* (2015) avaliaram o comportamento estrutural da camada de sublastro asfáltico para pavimento ferroviário, através de modelagem computacional, considerando materiais e parâmetros brasileiros. Portanto, possibilita-se a futuras pesquisas um ponto de partida para análises de custo e campo no país.

As conclusões obtidas em 2007, ao se comparar as aplicações das placas de borracha e de concreto, apontam que as placas de concreto não se adaptaram bem às condições, rachando precocemente devido as vibrações. Apesar da placa de concreto ser mais sensível ao tráfego, o fato foi que o modelo desenvolvido e o método de aplicação foram inadequados, levando ao insucesso. Isso pode ser confirmado pelos resultados positivos que os autores Rose & Malloy (2014) encontraram com as PNs de concreto.

Apesar das duas passagens estarem sujeitas às mesmas condições de tráfego ferroviário e de geometria, o volume de tráfego da rodovia é diferente (Tabela 16). Afinal, ao se comparar a largura das PNs e o MC, percebe-se que a PN que recebeu as placas de concreto (Benjamin Constant) possui maior volume de tráfego rodoviário. A Benjamin também possui três faixas rodoviárias, enquanto a Pinto de Moura possui apenas duas.

Tabela 16. Comparação das características das PNs. Fonte: O autor.

KM	273+916	275+400
NOME DA PASSAGEM	Pinto de Moura	Benjamin Constant
VIAS ATRAVESSADAS	1	1
RAMPA NO LOCAL (%)	0	0
VIA EM NÍVEL	S	S
ÂNGULO DA TRAVESSIA (GRAUS)	90	90
TRÂNSITO DE PEDESTRES	3	4
RAMPA MÁXIMA DE APROXIMAÇÃO DA VIA (%)	0	0
COMPRIMENTO DA RAMPA DA VIA (M)	0	0
MOMENTO DE CIRCULAÇÃO	248.291	375.484
LARGURA DA PN (M)	12,2	14,1
COMPRIMENTO DA PN (M)	5,6	5,6

Além disso, de acordo com a revisão bibliográfica, as placas de concreto são mais sensíveis às variações do tráfego, por não dissiparem as vibrações ao longo da estrutura.

Ao analisar as condições atuais da PN Pinto de Moura, nota-se a perda de estabilidade e de capacidade resistente da infraestrutura do cruzamento. Com o início das primeiras irregularidades na passagem, as interações das forças na estrutura se modificam, os carregamentos devido ao tráfego de veículos aumentam, e o desgaste se intensifica. Com o tempo as placas se soltam, o pavimento se deforma e o subleito recalca, de maneira cada vez mais acelerada.

Observa-se também o início da falha da PN polimérica, ao constatar algumas rachaduras e separação das placas, o que coincide com o modo de falha da borracha indicado na Tabela 3. Contudo, a PN não recebeu manutenções preventivas, o que explica a vida útil reduzida se comparada ao informado pelo fornecedor.

Conclui-se que as placas de borracha instaladas na PN Pinto de Moura em 2007, possuem competência e viabilidade técnica suficientes, desde que as placas e os componentes da via sejam mantidos.

Está prevista uma instalação de placas poliméricas na PN Benjamin Constant, em dezembro de 2017, com o objetivo de testar um modelo protótipo – fabricado no Brasil – e verificar suas características com as solicitações reais de campo.

O modelo de classificação adotado de acordo com a prioridade de manutenção das passagens – apesar de inicial – atende às necessidades do trabalho e está de acordo com os principais fatores que são levados em consideração, segundo a bibliografia estudada.

O Gráfico 3 e o Gráfico 4 não mostram os valores reais de impacto dos diferentes investimentos (apresentados na Tabela 15), todavia apresentam uma boa comparação de custo entre as diferentes alternativas. Apesar do asfalto ser um material de custo reduzido, o gasto com manutenção à longo prazo é elevado, quando comparado ao pavimento polimérico. Portanto as placas de polímero apresentam melhor viabilidade financeira, considerando longos intervalos de tempo.

A Tabela 17 apresenta o resumo dos indicadores calculados do estudo de viabilidade econômica. O valor atual representa situação das PNs com pavimento asfáltico, e o valor projetado com pavimento polimérico. É nítido que o pavimento de polímero, por possuir alta durabilidade e ser modular, impacta menos na operação ferroviária.

Tabela 17. Resumo dos indicadores. Fonte: O autor.

<i>Indicadores</i>	<i>Valor Atual</i>	<i>Valor Projetado</i>
Ciclo de manutenção anual	18,3	1,1
Tempo de intervalo em 15 anos	1.645 h	522 h
PNs críticas	29	8

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os cruzamentos que apresentam maiores problemas de desgaste são os monolíticos, e um dos fatores é devido à diferença de rigidez entre o pavimento rodoviário e ferroviário. Nas passagens com superfícies modulares, geralmente o pavimento ferroviário é separado do pavimento rodoviário por uma viga de concreto, além disso as placas são apoiadas nas vigas. Essas características provavelmente contribuem para evitar problemas de desgaste. Note que no caso dos blocos de concreto, por não se apoiarem em vigas, sofrem deflexões e desgastes devido à diferença de rigidez entre os pavimentos.

Além de elementos intrínsecos das PNs, como geometria e rigidez, outros fatores devido falta de manutenção, projeto inapropriado e má execução – que podem ser contornados – também contribuem severamente (inclusive possuindo maior peso) para a degradação do pavimento dos cruzamentos rodoferroviários.

O valor de rampa máxima de aproximação do perfil vertical, adotada pela AASHTO (2011) e DNIT (2005), tem por objetivo diminuir a diferença de nível entre os pavimentos rodoviários e ferroviários, reduzindo a amplitude das deflexões e o desgaste da PN. O perfil também apresenta um trecho em tangente próximo dos trilhos, valor mínimo este que contribui para reduzir os impactos das cargas dos veículos rodoviários contra os trilhos.

De acordo com a bibliografia estudada, não há especificações que definem o início da falha da superfície da PN, nem a vida útil desta. Pesquisas futuras podem avaliar as características físicas e de tráfego dos cruzamentos, com o objetivo de correlacionar, quantificar e prever a durabilidade destes. Dessa forma, é possível realizar estudos de viabilidade sem necessitar de grande quantidade de dados históricos de manutenção.

Recomenda-se, em pesquisas futuras, utilização de uma metodologia mais robusta e sistemática para priorização de cruzamentos críticos. Apesar do modelo de classificação adotado atender as necessidades do projeto, fatores importantes como histórico de acidentes e potencial de perigo poderiam ser considerados em conjunto. Além disso, nota-se uma necessidade crescente de criar e utilizar fórmulas próprias e específicas para priorização de melhorias em PNs, pois diversos fatores estão associados a condições particulares locais (Dulebenets, 2012; Sperry *et al.*, 2016).

Além do alcance dos objetivos do trabalho, principalmente através dos estudos de viabilidade técnica e econômica, o cruzamento rodoferroviário de pavimento polimérico possibilita diversas vantagens e ganhos qualitativos:

- Melhor relação da empresa com a comunidade (menor impacto à comunidade);
- Maior segurança na transposição de veículos;
- Redução do risco de avaria de veículos na transposição;
- Maior manutenibilidade da via permanente;
- Maior durabilidade do piso da PN (vida útil mínima de 15 anos) e da superestrutura férrea (menor necessidade de manutenção);
- Menor impacto na operação ferroviária;
- Redução do ruído dos veículos na transposição;
- Utilização de material reciclável (sustentabilidade).

Vale ressaltar que não há nenhuma passagem de polímero instalada no trecho carregado da MRS (trecho em que há o transporte de minério de ferro e, portanto, é o trecho onde a via é mais solicitada). Portanto recomenda-se aplicá-las nesses locais para avaliar e analisar seu comportamento e desempenho em situações de maior carga por eixo.

Pesquisas atuais mostram que apesar de superfícies de alto desempenho – como concreto e borracha – possuem maior durabilidade quando comparadas com as superfícies de asfalto e madeira, os principais fatores que contribuem para prolongar a vida útil do cruzamento não estão associados ao material da superfície, mas sim envolvem a geometria, drenagem e características geotécnicas e estruturais do subleito. O principal motivo em utilizar PNs modulares é para facilitar a manutenção ferroviária.

Estes últimos fatores influenciam fortemente na durabilidade da PN e, conseqüentemente, nos custos e frequência de manutenção, portanto são de alta prioridade para serem avaliados e adequados em campo.

De acordo com a bibliografia estudada, concluiu-se que a PN Pinto de Moura começou a apresentar elevado nível de deterioração, falta de suporte estrutural e recalques da fundação. Entretanto, outros fatores não relacionados ao subleito podem causar o aparecimento de buracos e a deterioração das passagens, como o acomodamento do lastro. Logo seria interessante a análise em campo das condições do subleito, com o objetivo de confirmar a situação real da fundação.

Apesar de existir um compilado razoável de estudos no exterior sobre superfícies para PNs, é preciso desenvolver maior conhecimento sobre o assunto no Brasil, com destaque para as superfícies modulares, que são pouquíssimas utilizadas e aplicadas, mas fornecem muitos ganhos de custos e manutenção. Ensaios, testes e instrumentações garantem uma análise comportamental das passagens de acordo com as características específicas do país (como clima, tipo de solo, volume de tráfego e carga por eixo).

No desenvolvimento do estudo de viabilidade foi gasto um tempo considerável para organizar, interpretar, procurar e resgatar os dados referentes às manutenções realizadas nas PNs. Pode-se, periodicamente, adicionar esta informação no sistema informatizado para gestão de interferências, e o mesmo pode ser feito com as informações coletadas em campo, que avaliam as condições reais das passagens. Assim a análise do ciclo de vida dos cruzamentos se tornará mais fácil, além de concentrar todas as informações pertinentes em um único banco de dados informatizado e integrado.

Como visto na revisão, garantir um suporte adequado para a fundação é essencial para fornecer boas condições físicas para as passagens. Portanto, isso explica como o sublastro de asfalto pode trazer ganhos no desempenho e durabilidade dos cruzamentos, ao fornecer suporte estrutural, impedir o bombeamento de finos, realizar o confinamento do lastro e diminuir as diferenças de rigidez entre os pavimentos ferroviários e rodoviários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albalat, S. A., Domingo, L. M., Sanchis, I. V., Herráz, J. I., & Segarra, A. V. (2011). Crumb rubber modified bitumen for sub-ballast layer. *9th World Congress on Railway Research*. Lila, França.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2011). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets: 6th Edition*. Washington, DC.
- American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association (AREMA). (2013). *Manual for Railway Engineering*. Lanham, MD.
- Askeland, D. R., & Phulé, P. P. (2008). *Ciência e Engenharia dos Materiais*. São Paulo: Cengage Learning.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (1980). Via Permanente Ferroviária - terminologia. *TB 131*.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2009). Passagem em nível pública - Requisitos de projeto. *NBR 15680*.
- Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários (ANTF). *Informações gerais*. Fonte: <http://www.antf.org.br/informacoes-gerais/> (Acessado em: 20 de agosto de 2017).
- Banco Central do Brasil (BCB). *Calculadora do cidadão*. Fonte: <https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADA0/publico/exibirFormCorrecaoValores.do?method=exibirFormCorrecaoValores>. (Acessado em: 07 de junho de 2017).
- Blessing, C., Fobbs, C., Jurmu, N., Klieber, J., & Summers, A. (2014). *Highway-Railroad Grade Crossing Surface Material Performance*. Lansing: National University Rail Center.
- Burns, D. R. (1989). Selecting the Most Cost-Effective Grade Crossing Surface. *Proceedings of the 1989 National Conference on Rail-Highway Safety*.
- Carmo, R. C. (2006). Procedimento para avaliação de passagens de nível. *Monografia (Especialização)*. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia.

- Carmo, R. C., & Campos, V. B. (2009). *Análise de Pavimentos para Passagem de Nível. Congresso de Infra-estrutura de Transportes*. São Paulo, SP.
- Confederação Nacional do Transporte (CNT). (2015). *Pesquisa CNT de Ferrovias*. Brasília.
- Confederação Nacional do Transporte (CNT). (2017). *Anuário CNT do transporte – estatísticas consolidadas 2017*. Brasília.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). (2005). *Manual de Projeto de Interseções. 2ed.* Rio de Janeiro: IPR.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). (2016). *Parâmetros Indicadores de Intervenções em Áreas Urbanas*.
- Dulebenets, M. A. (2012). Highway-Rail Grade Crossing Identification and Prioritizing Model Development. *Dissertação*. Tennessee: University of Memphis.
- Esveld, C. (2001). *Modern railway track*. MRT Productions.
- European Transport Safety Council (ETSC). International Level Crossing Awareness Day 2015. Fonte: <http://etsc.eu/international-level-crossing-awareness-day-2015/> (Acessado em: 04 de dezembro de 2017)
- Federal Highway Administration (FHWA). (2007). *Railroad-Highway Grade Crossing Handbook*. Washington, DC.
- Federal Highway Administration (FHWA). (2016). *Highway-Railway Grade Crossing Action Plan and Project Prioritization Noteworthy Practices Guide*.
- Federal Railroad Administration (FRA). (2008). *Bridge Approaches and Track Stiffness*. Washington, DC.
- Federal Railroad Administration (FRA). (2016). *Guide for Preparing U. S. DoT Crossing Inventory Forms*.
- Freitas, A. M. (2010). A Produção de Pisos de Borracha e sua Utilização em Cruzamentos Rodoferroviários. *Monografia*. Juiz de Fora, MG: Universidade Federal de Juiz de Fora.

- Gordillo, T., & Arena, R. (2009). Concrete Block Pavements as a Solution to a Rail Crossing Subjected to Loads of Heavy Traffic, in an Urban Area. *9th. International Conference on Concrete Block Paving*. Buenos Aires.
- Hans, Z., Albrecht, C., Johnson, P., & Nlenanya, I. (2015). *Development of Railroad Highway Grade Crossing Consolidation Rating Formula*. Iowa State University.
- Indraratna, B., Salim, W., & Rujikiatkamjorn, C. (2011). *Advanced Rail Geotechnology – Ballasted Track*. Londres: Taylor and Francis Group.
- International Union of Railways (UIC). (2016). UIC Safety Report. *Significant Accidents occurred in Europe during the year 2015*. Paris.
- KRAIBURG Elastik GmbH. (2010). velo-STRAIL: rua encontra trilhos. *Folder publicitário*.
- KRAIBURG Elastik GmbH. (2010a). sistema Premium: rua encontra trilhos. *Folder publicitário*.
- KRAIBURG Elastik GmbH, S. (2008). *Relatório de Projeto / Primeira instalação no Brasil*. Juiz de Fora.
- Kurhan, M. B., Kurhan, D. M., & Luzhytskyi, O. F. (2015). Inequalities Research of the Track at the Railroad Crossings. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, pp. N°5 (84-96).
- Malloy, B., Rose, J., & Purcell, M. (2014). *Railway/Highway At-Grade Crossing Surface Rehabilitation Manual: Recommendations and Guides*. Kentucky Transportation Center.
- Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (MTPA); Empresa de Planejamento e Logística (EPL). (2017). *Anuário Estatístico de Transportes 2010 - 2016*. Brasília.
- MRS Logística. (2016). Estratégia de Manutenção, Inspeção e Instalação de Passagem em Nível. *Relatório Técnico de Engenharia*.

- MRS Logística. *MRS é pioneira na colocação de sublastro asfáltico na malha*. Fonte: <https://www.mrs.com.br/post-newsletter/mrs-e-pioneira-na-colocacao-de-sublastro-asfaltico-na-malha/> (Acessado em: 20 de agosto de 2017).
- Nabais, R. J. (2014). *Manual básico de engenharia ferroviária*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Pereira, W. A., & Almeida, L. S. *Método Manual para Cálculo da Taxa Interna de Retorno*. Fonte: Universidade Federal do Amazonas: <http://home.ufam.edu.br/andersonlfc/MacroI/MetodoManualTIR.pdf> (Acessado em: 20 de agosto de 2017).
- Programa de Parcerias de Investimentos (PPI). *PPI: a força-tarefa que deu certo!* Fonte: Projeto Crescer: <http://www.projetcrescer.gov.br/ppi-a-forca-tarefa-que-tem-dado-certo> (Acessado em: 31 de julho de 2017).
- Rangel, G. W., Aragão, F. T., & Motta, L. M. (s.d.). Modelagem Computacional do Pavimento Ferroviário Usando Concreto Asfáltico como Alternativa para a Construção da Camada de Sublastro. *44ª Reunião Anual de Pavimentação*. Foz do Iguaçu, PR.
- Revista Ferroviária. *Programa de concessões pode gerar 125 mil vagas*. Fonte: <http://www.revistaferroviaria.com.br/index.asp?InCdNewsletter=8658&InCdMateria=26985&InCdEditoria=2> (Acessado em: 25 de outubro de 2017).
- Rose, J. (2009). *Highway-Railway At-Grade Crossing Structures: Optimum Design/Installation Practices and Management Program – An Overview*. Kentucky Transportation Center.
- Rose, J. G. (2016). *Railway-Highway At-Grade Crossing Surface Management. Apresentação*. West Lafayette, Indiana.
- Rose, J. G., & Malloy, B. R. (2014). *Effect of Enhanced Trackbed Support on Railway/Highway At-Grade Crossing Performance*. Lexington, KY: Kentucky Transportation Center.

- Rose, J. G., & Malloy, B. R. (2016). *Typical Designs and Long-Term Performance Evaluations of Highway-Railway At-Grade Crossings Containing Asphalt Underlayment*. Lexington, KY.
- Selig, E. T., & Waters, J. M. (1994). *Track geotechnology and substructures Management*. Londres: Thomas Telford Services Ltd.
- Sperry, B. R., Naik, B., & Warner, J. E. (2016). Current Issues in Highway-Railroad Grade Crossing Hazard Ranking and Project Development. *96th Transportation Research Board Annual Meeting*.
- Transportation Research Board (TRB). (1998). *Highway-Rail Grade Crossing Surfaces*. Washington, DC: National Academy Press.
- Tzanakakis, K. (2013). *The Railway Track and Its Long Term Behaviour - A Handbook for a Railway Track of High Quality*. Atenas: Springer.
- Zangerolamo, M. (2015). Aplicação em Passagens em Nível de Pisos de Alta Resistência em Borracha Reciclada em Substituição ao Asfalto e Concreto. *Monografia*. Piracicaba, SP: Escola de Engenharia de Piracicaba.

ANEXO I – Formulário para inventário de cruzamentos do Departamento de Transportes dos Estados Unidos da América (2016)

DEPARTMENT OF TRANSPORTATION
FEDERAL RAILROAD ADMINISTRATION

OMB No. 2130-0017

Instructions for the initial reporting of the following types of new or previously unreported crossings: For public highway-rail grade crossings, complete the entire inventory form. For private highway-rail grade crossings, complete the Header, Parts I and II, and the Submission Information section. For public pathway grade crossings (including pedestrian station grade crossings), complete the Header, Parts I and II, and the Submission Information section. For private pathway grade crossings, complete the Header, Parts I and II, and the Submission Information section. For grade-separated highway-rail or pathway crossings (including pedestrian station crossings), complete the Header, Part I, and the Submission Information section. For changes to existing data, complete the Header, Part I Items 1-3, and the Submission Information section, in addition to the updated data fields. Note: For private crossings only, Part I Item 20 and Part III Item 2.K. are required unless otherwise noted. An asterisk * denotes an optional field.

A. Revision Date (MM/DD/YYYY)		B. Reporting Agency <input type="checkbox"/> Railroad <input type="checkbox"/> Transit <input type="checkbox"/> State <input type="checkbox"/> Other		C. Reason for Update (Select only one) <input type="checkbox"/> Change in Data <input type="checkbox"/> Re-Open <input type="checkbox"/> New Crossing <input type="checkbox"/> Date Change Only <input type="checkbox"/> Closed <input type="checkbox"/> No Train Traffic <input type="checkbox"/> Quiet Zone Update <input type="checkbox"/> Admin. Correction <input type="checkbox"/> Change in Primary Operating RR			D. DOT Crossing Inventory Number
Part I: Location and Classification Information							
1. Primary Operating Railroad			2. State		3. County		
4. City / Municipality <input type="checkbox"/> In <input type="checkbox"/> Near		5. Street/Road Name & Block Number (Street/Road Name) * (Block Number)			6. Highway Type & No.		
7. Do Other Railroads Operate a Separate Track at Crossing? <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No If Yes, Specify RR				8. Do Other Railroads Operate Over Your Track at Crossing? <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No If Yes, Specify RR			
9. Railroad Division or Region <input type="checkbox"/> None		10. Railroad Subdivision or District <input type="checkbox"/> None		11. Branch or Line Name <input type="checkbox"/> None		12. RR Milepost (prefix) (nnnn.nnn) (suffix)	
13. Line Segment *		14. Nearest RR Timetable Station *		15. Parent RR (if applicable) <input type="checkbox"/> N/A		16. Crossing Owner (if applicable) <input type="checkbox"/> N/A	
17. Crossing Type <input type="checkbox"/> Public <input type="checkbox"/> Private	18. Crossing Purpose <input type="checkbox"/> Highway <input type="checkbox"/> Pathway, Ped. <input type="checkbox"/> Station, Ped.	19. Crossing Position <input type="checkbox"/> At Grade <input type="checkbox"/> RR Under <input type="checkbox"/> RR Over	20. Public Access (if Private Crossing) <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No	21. Type of Train <input type="checkbox"/> Freight <input type="checkbox"/> Intercity Passenger <input type="checkbox"/> Commuter <input type="checkbox"/> Transit <input type="checkbox"/> Shared Use Transit <input type="checkbox"/> Tourist/Other	22. Average Passenger Train Count Per Day <input type="checkbox"/> Less Than One Per Day <input type="checkbox"/> Number Per Day		
23. Type of Land Use <input type="checkbox"/> Open Space <input type="checkbox"/> Farm <input type="checkbox"/> Residential <input type="checkbox"/> Commercial <input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Institutional <input type="checkbox"/> Recreational <input type="checkbox"/> RR Yard							
24. Is there an Adjacent Crossing with a Separate Number? <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No If Yes, Provide Crossing Number				25. Quiet Zone (FRA provided) <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> 24 Hr <input type="checkbox"/> Partial <input type="checkbox"/> Chicago Excused Date Established			
26. HSR Corridor ID <input type="checkbox"/> N/A		27. Latitude in decimal degrees (WGS84 std: +N.nnnnnnn)		28. Longitude in decimal degrees (WGS84 std: -W.nnnnnnn)		29. Lat/Long Source <input type="checkbox"/> Actual <input type="checkbox"/> Estimated	
30.A. Railroad Use *			31.A. State Use *				
30.B. Railroad Use *			31.B. State Use *				
30.C. Railroad Use *			31.C. State Use *				
30.D. Railroad Use *			31.D. State Use *				
32.A. Narrative (Railroad Use) *			32.B. Narrative (State Use) *				
33. Emergency Notification Telephone No. (posted)			34. Railroad Contact (Telephone No.)		35. State Contact (Telephone No.)		
Part II: Railroad Information							
1. Estimated Number of Daily Train Movements							
1.A. Total Day Thru Trains (6 AM to 6 PM)		1.B. Total Night Thru Trains (6 PM to 6 AM)	1.C. Total Switching Trains	1.D. Total Transit Trains	1.E. Check if Less Than One Movement Per Day How many trains per week? <input type="checkbox"/>		
2. Year of Train Count Data (YYYY)		3. Speed of Train at Crossing 3.A. Maximum Timetable Speed (mph) _____ 3.B. Typical Speed Range Over Crossing (mph) From _____ to _____					
4. Type and Count of Tracks Main _____ Siding _____ Yard _____ Transit _____ Industry _____							
5. Train Detection (Main Track only) <input type="checkbox"/> Constant Warning Time <input type="checkbox"/> Motion Detection <input type="checkbox"/> AFO <input type="checkbox"/> PTC <input type="checkbox"/> DC <input type="checkbox"/> Other <input type="checkbox"/> None							
6. Is Track Signaled? <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No			7.A. Event Recorder <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No		7.B. Remote Health Monitoring <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No		

FORM FRA F 6180.71 (Rev. 3/15)

OMB approval expires 3/31/2018

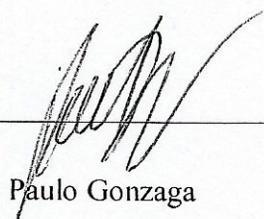
Page 1 OF 2

A. Revision Date (MM/DD/YYYY)		PAGE 2		D. Crossing Inventory Number (7 char.)	
Part III: Highway or Pathway Traffic Control Device Information					
1. Are there Signs or Signals? <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No					
2. Types of Passive Traffic Control Devices associated with the Crossing					
2.A. Crossbuck Assemblies (count)		2.B. STOP Signs (R1-1) (count)	2.C. YIELD Signs (R1-2) (count)	2.D. Advance Warning Signs (Check all that apply; include count) <input type="checkbox"/> None	
				<input type="checkbox"/> W10-1 <input type="checkbox"/> W10-3 <input type="checkbox"/> W10-11 <input type="checkbox"/> W10-2 <input type="checkbox"/> W10-4 <input type="checkbox"/> W10-12	
2.E. Low Ground Clearance Sign (W10-5) <input type="checkbox"/> Yes (count _____) <input type="checkbox"/> No		2.F. Pavement Markings <input type="checkbox"/> Stop Lines <input type="checkbox"/> Dynamic Envelope <input type="checkbox"/> RR Xing Symbols <input type="checkbox"/> None		2.G. Channelization Devices/Medians <input type="checkbox"/> All Approaches <input type="checkbox"/> Median <input type="checkbox"/> One Approach <input type="checkbox"/> None	2.H. EXEMPT Sign (R15-3) <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No
				2.I. ENS Sign (I-13) Displayed <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No	
2.J. Other MUTCD Signs Specify Type _____ Count _____ Specify Type _____ Count _____ Specify Type _____ Count _____		2.K. Private Crossing Signs (if private) <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No	2.L. LED Enhanced Signs (List types)		
3. Types of Train Activated Warning Devices at the Grade Crossing (specify count of each device for all that apply)					
3.A. Gate Arms (count)		3.B. Gate Configuration <input type="checkbox"/> 2 Quad <input type="checkbox"/> Full (Barrier) Resistance <input type="checkbox"/> 3 Quad <input type="checkbox"/> Median Gates <input type="checkbox"/> 4 Quad		3.C. Cantilevered (or Bridged) Flashing Light Structures (count) Over Traffic Lane _____ <input type="checkbox"/> Incandescent Not Over Traffic Lane _____ <input type="checkbox"/> LED	3.D. Mast Mounted Flashing Lights (count of masts) _____ <input type="checkbox"/> Incandescent <input type="checkbox"/> LED <input type="checkbox"/> Back Lights Included <input type="checkbox"/> Side Lights Included
3.E. Total Count of Flashing Light Pairs					
3.F. Installation Date of Current Active Warning Devices: (MM/YYYY) _____ <input type="checkbox"/> Not Required		3.G. Wayside Horn <input type="checkbox"/> Yes Installed on (MM/YYYY) _____ <input type="checkbox"/> No		3.H. Highway Traffic Signals Controlling Crossing <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No	3.I. Bells (count)
3.J. Non-Train Active Warning <input type="checkbox"/> Flagger/Flagman <input type="checkbox"/> Manually Operated Signals <input type="checkbox"/> Watchman <input type="checkbox"/> Floodlighting <input type="checkbox"/> None				3.K. Other Flashing Lights or Warning Devices Count _____ Specify type _____	
4.A. Does nearby Hwy Intersection have Traffic Signals? <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No		4.B. Hwy Traffic Signal Interconnection <input type="checkbox"/> Not Interconnected <input type="checkbox"/> For Traffic Signals <input type="checkbox"/> For Warning Signs	4.C. Hwy Traffic Signal Preemption <input type="checkbox"/> Simultaneous <input type="checkbox"/> Advance	5. Highway Traffic Pre-Signals <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No Storage Distance * _____ Stop Line Distance * _____	6. Highway Monitoring Devices (Check all that apply) <input type="checkbox"/> Yes - Photo/Video Recording <input type="checkbox"/> Yes - Vehicle Presence Detection <input type="checkbox"/> None
Part IV: Physical Characteristics					
1. Traffic Lanes Crossing Railroad Number of Lanes _____ <input type="checkbox"/> One-way Traffic <input type="checkbox"/> Two-way Traffic <input type="checkbox"/> Divided Traffic		2. Is Roadway/Pathway Paved? <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No	3. Does Track Run Down a Street? <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No	4. Is Crossing Illuminated? (Street lights within approx. 50 feet from nearest rail) <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No	
5. Crossing Surface (on Main Track, multiple types allowed) Installation Date * (MM/YYYY) _____ Width * _____ Length * _____ <input type="checkbox"/> 1 Timber <input type="checkbox"/> 2 Asphalt <input type="checkbox"/> 3 Asphalt and Timber <input type="checkbox"/> 4 Concrete <input type="checkbox"/> 5 Concrete and Rubber <input type="checkbox"/> 6 Rubber <input type="checkbox"/> 7 Metal <input type="checkbox"/> 8 Unconsolidated <input type="checkbox"/> 9 Composite <input type="checkbox"/> 10 Other (specify) _____					
6. Intersecting Roadway within 500 feet? <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No If Yes, Approximate Distance (feet) _____			7. Smallest Crossing Angle <input type="checkbox"/> 0° - 29° <input type="checkbox"/> 30° - 59° <input type="checkbox"/> 60° - 90°	8. Is Commercial Power Available? * <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No	
Part V: Public Highway Information					
1. Highway System <input type="checkbox"/> (01) Interstate Highway System <input type="checkbox"/> (02) Other Nat Hwy System (NHS) <input type="checkbox"/> (03) Federal Aid, Not NHS <input type="checkbox"/> (08) Non-Federal Aid		2. Functional Classification of Road at Crossing <input type="checkbox"/> (0) Rural <input type="checkbox"/> (1) Urban <input type="checkbox"/> (1) Interstate <input type="checkbox"/> (5) Major Collector <input type="checkbox"/> (2) Other Freeways and Expressways <input type="checkbox"/> (3) Other Principal Arterial <input type="checkbox"/> (6) Minor Collector <input type="checkbox"/> (4) Minor Arterial <input type="checkbox"/> (7) Local		3. Is Crossing on State Highway System? <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No	4. Highway Speed Limit System? _____ MPH <input type="checkbox"/> Posted <input type="checkbox"/> Statutory
				5. Linear Referencing System (LRS Route ID) * 6. LRS Milepost * _____	
7. Annual Average Daily Traffic (AADT) Year _____ AADT _____		8. Estimated Percent Trucks _____ %	9. Regularly Used by School Buses? <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No Average Number per Day _____	10. Emergency Services Route <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No	
Submission Information - This information is used for administrative purposes and is not available on the public website.					
Submitted by _____		Organization _____		Phone _____	Date _____
Public reporting burden for this information collection is estimated to average 30 minutes per response, including the time for reviewing instructions, searching existing data sources, gathering and maintaining the data needed and completing and reviewing the collection of information. According to the Paperwork Reduction Act of 1995, a federal agency may not conduct or sponsor, and a person is not required to, nor shall a person be subject to a penalty for failure to comply with, a collection of information unless it displays a currently valid OMB control number. The valid OMB control number for information collection is 2130-0017. Send comments regarding this burden estimate or any other aspect of this collection, including for reducing this burden to: Information Collection Officer, Federal Railroad Administration, 1200 New Jersey Ave. SE, MS-25 Washington, DC 20590.					

ANEXO II – Declaração da empresa

Declaro para os devidos fins, que Rômulo Murucci Oliveira possui autorização para divulgar o nome da empresa MRS Logística S/A bem como dados não confidenciais na elaboração de seu trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Juiz de Fora, 05 de dezembro de 2017.



Paulo Gonzaga

(carimbo da empresa)

Paulo Gonzaga
MATRÍCULA 30.023.142
MRS LOGÍSTICA S/A.