JESNER SERENI ILDEFONSO

PROPOSTA DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA PARA VIAS FÉRREAS BRASILEIRAS

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Doutor em Ciências no Programa de Pós-Graduação em Transportes.

Orientador: Prof. Dr. José Leomar Fernandes Jr.

São Carlos

2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA
FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

I27p

Ildefonso, Jesner Sereni

Proposta de um sistema de gerência para vias
férreas brasileiras / Jesner Sereni Ildefonso;
orientador José Leomar Fernandes Júnior. São Carlos, 2013.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Transportes e Área de Concentração em
Infra-Estrutura de Transporte -- Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2013.

1. Ferrovias. 2. Gerência de vias. 3. Índices de qualidade. 4.
Geometria ferroviária. 5. Superestrutura ferroviária. 6. Defeitos.
I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro JESNER SERENI ILDEFONSO.

Título da tese: "Proposta de um sistema de gerência para vias férreas brasileiras".

Data da defesa: 07/02/2013

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Associado **José Leomar Fernandes Júnior (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADO

Prof. Dr. **Glauco Túlio Pessa Fabbri**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADO

Prof^a. Dr^a. **Sandra Oda**
(Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ)

APROVADO

Prof^a. Dr^a. **Eliane Viviani**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

APROVADO

Prof. Dr. **Ernesto Ferreira Nobre Junior**
(Universidade Federal do Ceará/UFC)

APROVADO

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes:
Prof. Associado **Antônio Néelson Rodrigues da Silva**

Dedico esta obra à minha família, que sempre me proveu apoio, amor, incentivo e segurança, fatores estes que me permitiram chegar ao final deste trabalho.

A história da ciência, como história de todas as ideias humanas, é feita de sonhos irresponsáveis, de erros e de obstinação. Mas a ciência é uma das poucas atividades humanas - talvez a única - em que os erros são criticados sistematicamente (e com frequência corrigidos). Por isso podemos dizer que, no campo da ciência, aprendemos muitas vezes com nossos erros.

(Karl Popper)

*I get by with a little help from my friends,
Gonna try with a little help from my friends*

(Paul McCartney)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado força e coragem para vencer os muitos obstáculos que apareceram nesta jornada.

Ao professor Dr. José Leomar Fernandes Jr., pelos anos de amizade, apoio, ensinamentos, compreensão e auxílio dispensados nesta empreitada que começou com o trabalho de mestrado e que perdurará por muitos anos e trabalhos ainda por vir.

Aos professores Dr. Adalberto Leandro Faxina e Dra. Eliane Viviani, pelas sugestões, confiança e cuidados dispensados no exame de qualificação.

Ao engenheiro Lucas Vinícius Fukagawa, pela indicação e contato com a empresa concessionária dos trechos estudados.

Ao professor Dr. Paulo César Lima Segantine, pela amizade, aconselhamentos e momentos de descontração.

Às funcionárias Heloísa Helena B. P. M. Belo e Elizabeth Regina Zambon Ortegado, da secretaria do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, pelo apoio administrativo neste trabalho e amizade.

Aos funcionários e amigos Antônio Carlos Gigante, Paulo Toyama, João Domingos Pereira Filho, Alexandre Reis de Oliveira, Antônio Carlos Mariano, Magaly Bruno Marcondes César, Paulo Sérgio Batista, pela ajuda, amizade e momentos de alegria.

Aos professores do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, pelos conhecimentos transferidos e apoio técnico, em especial ao professor Dr. Antônio Néelson Rodrigues da Silva, pelos cuidados e preocupação.

Aos amigos e “irmãos de sala” Sérgio Soncim, Vivian Bardini, Fábio Zanchetta, Mateus Dezotti, Diego Nunes e Amanda Eler pelo convívio diário repleto de companheirismo, incentivo, ajuda, desabafos e risadas.

Aos amigos do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos pelos ótimos momentos vividos juntos, Ana Furlan, André Cunha, Bruno Bertoncini, Francis Kakuda, Leandro Piassi, Luís Miguel, Mateus Araújo, Paulo Reschetti.

Aos colegas do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos que me acompanharam ao longo do doutoramento, Alex, Ana Paula Magalhães, Andressa Ng, Daniel Anijar, Denise Machado, Dinato, Fabíola Aguiar, Fernanda Pilati, Fernando Hirose, Gustavo Andrade, Iara Alves, Isabela Fornaciari, Joicy Poloni, José Elievam, Karla Cristina, Ligia Gesteira, Luciana Spigolon, Madalena Ribeiro, Marcela Navarro, Marcelo Mancini, Mário Azevedo, Monique Gomes, Pablo Sousa, Robert Becerra, Rochele, Simone Lopes, Talita Caetano, Thais Guerreiro, Victor Frazão e Tiago Bastos.

Ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá, em especial para os professores Dr. José Kiynga Yshiba e Dr. Jeselay Hemetério Cordeiro dos Reis, pelo apoio e incentivo à realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudo concedida.

Às pessoas que têm, tiveram e sempre terão papel fundamental na minha vida:

Daniela Mortari, pelos ótimos momentos juntos, pelo carinho e incentivo ao longo desses anos.

Meus amigos-irmãos Eduardo Moreira, Ricardo Bardalati, Mauro Gattamorta e Marcelo Gonsales, que sempre estiveram ao meu lado.

Meus familiares, Tia Sueli, Tio Toninho, tio Celso, tia Penha, Diogo e Diana, pelo apoio incondicional, carinho e alegrias.

Meus irmãos, Élder e Cléber, aos quais me ponho como referência e que são as alegrias da minha vida.

Minha avó Olívia e meu avô Orlando (*in memoriam*), pelo papel fundamental na formação da pessoa que sou hoje e pelo amor sem fronteiras.

Meus pais, Élcio e Iracy, referências em minha vida e que traduzem o verdadeiro significado de família no nosso dia a dia.

RESUMO

ILDEFONSO, J. S. **Proposta de um sistema de gerência para vias férreas brasileiras**. 2012. 171 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

O sistema ferroviário brasileiro é constituído por uma malha de aproximadamente 30 mil quilômetros de ferrovias, nas quais percorrem mais de 2,9 mil locomotivas e 92 mil vagões, responsáveis pelo transporte de cerca 23% da carga do país; a matriz de transportes está distorcida, uma vez que nos países desenvolvidos esse modo responde por cerca de 40% da carga transportada. A manutenção de via permanente responde por 12% a 30% do custo de operação de uma via férrea e nas ferrovias brasileiras, esse gasto ficou em torno de 300 milhões de dólares no ano de 2000, evidenciando que simples melhorias no modo como as manutenções são realizadas, implicam em grande economia para o setor. Há basicamente três tipos de manutenções passíveis de serem executadas: manutenção corretiva, manutenção preventiva e manutenção preditiva. Com o uso da gerência de vias férreas é possível determinar qual manutenção é a mais apropriada e quando se deve executá-la, de forma a utilizar os recursos financeiros disponíveis da melhor forma possível. O foco desta pesquisa está no estudo da via férrea com relação à geometria e à condição estrutural dos elementos da superestrutura e, para isso, são propostos métodos de gerência e índices de qualidade para ambos os casos.

Palavras-chave: Ferrovias; Gerência de vias; Índices de qualidade; Geometria ferroviária; Superestrutura ferroviária; Defeitos.

ABSTRACT

ILDEFONSO, J. S. **Proposal for a management system for Brazilian railways.** 2012. 171 p. Thesis (Ph.D.) – Engineering School of Sao Carlos, University of Sao Paulo, Sao Carlos, 2012.

The Brazilian railway system consists of a network of approximately 30,000 kilometers, which runs a fleet of more than 2,900 locomotives and 92,000 wagons, transporting approximately 23% of the load of the country, while in developed countries this mode accounts for about 40% of the cargo. The track maintenance accounts for 12% to 30% of the cost of operating and the cost was around \$ 300 million in 2000 at railroads in Brazil, showing that simple improvements in the way maintenance are performed, imply great savings for the industry. There are basically three types of maintenance that can be performed: corrective maintenance, preventive maintenance and predictive maintenance. Using the management of railways is possible to determine which is most appropriate maintenance and when to run it in order to use the available resources in the best way possible. The main goal of this research is to study the rail with respect to geometry and structural condition of the elements of the superstructure and to this are proposed methods for management and quality indexes for both cases.

Keywords: Railroad; Management system; Quality index; Geometry; Railway superstructure; Defects.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Seção típica de via férrea	12
Figura 2.2: Seção típica de trilho	14
Figura 2.3: Dormentes de madeira	17
Figura 2.4: Dormente bi-bloco de concreto armado	19
Figura 2.5: Dormente monobloco de concreto protendido	19
Figura 2.6: Dormentes de aço	20
Figura 2.7: Dormentes de plástico	21
Figura 2.8: Lastro	25
Figura 2.9: Pregos de linha	27
Figura 2.10: Tirefond	27
Figura 2.11: Tirefonadeira	27
Figura 2.12: Retensores	28
Figura 2.13: Fixação elástica tipo GEO	29
Figura 2.14: Fixação elástica tipo grampo simples	29
Figura 2.15: Fixação elástica tipo grampo duplo	30
Figura 2.16: Fixação elástica tipo Pandrol	30
Figura 2.17: Fixação elástica tipo Deenik	31
Figura 2.18: Fixação elástica tipo RN	31
Figura 2.19: Talas de junção	32
Figura 2.20: Talas de junção – Tipos	32
Figura 2.21: Talas de junção – Furos	33
Figura 2.22: Parafuso para tala de junção	34
Figura 2.23: Arruelas para talas de junção	34
Figura 2.24: Placa de apoio	34
Figura 3.1: Defeitos de bitola	38
Figura 3.2: Trilho desnivelado	39
Figura 3.3: Empeno	40
Figura 4.1: Árvore de decisão para o defeito trincas por fadiga	63
Figura 4.2: Escala dos índices de condição usada pelo RAILER	87
Figura 5.1: Malha Sul e trechos de estudo	94
Figura 5.2. Carro controle – frente	96
Figura 5.3. Carro controle – trás	96

Figura 5.4: Dados de variação de bitola captados pelo carro controle	97
Figura 5.5: Curva normal padronizada	101
Figura 5.6: Distribuição da variação de bitola em 2008	102
Figura 5.7: Comportamento ao longo dos anos dos parâmetros geométricos avaliados	103
Figura 5.8: Condição da via em função do IQG	110
Figura 5.1: Curva de ponderação para lastro contaminado	131
Figura 5.2: Curva de ponderação para dormente em mau estado e severidade baixa	132
Figura 5.3: Curva de ponderação para dormente em mau estado e severidade média	132
Figura 5.4: Curva de ponderação para dormente em mau estado e severidade alta	133
Figura 5.5: Curva de ponderação para dormente em mau estado e severidade muito alta	133
Figura 5.6: Curva de ponderação para dormente mal posicionado e severidade baixa	134
Figura 5.7: Curva de ponderação para dormente mal posicionado e severidade média	134
Figura 5.8: Curva de ponderação para dormente mal posicionado e severidade alta	135
Figura 5.9: Curva de ponderação para dormente faltando	135
Figura 5.10: Curvas de ponderação para trilhos com 1, 2, 3 ou 4 tipos de defeitos e severidade baixa	136
Figura 5.11: Curvas de ponderação para trilhos com 1, 2, 3 ou 4 tipos de defeitos e severidade média	136
Figura 5.12: Curvas de ponderação para trilhos com 1, 2, 3 ou 4 tipos de defeitos e severidade alta	137
Figura 5.13: Curvas de ponderação para juntas com 1, 2 ou 3 tipos de defeitos e severidade baixa	137
Figura 5.14: Curvas de ponderação para juntas com 1, 2 ou 3 tipos de defeitos e severidade média	138
Figura 5.15: Curva de ponderação para juntas com 1 tipos de defeitos e severidade alta	138
Figura 5.16: Curva de ponderação para juntas com 1 tipos de defeitos e severidade muito alta	139
Figura 5.17: Curva de ponderação para fixação com 1 ou 2 tipos de defeitos e severidade alta	139
Figura 5.18: Curvas de correção para o grupo “Trilhos, Juntas e Acessórios”	141
Figura 5.19: Curvas de correção para o grupo “Dormentes”	141
Figura 5.20: Relação entre ICET e ACET	143
Figura 5.21: Relação entre ICED e ACED	144
Figura 5.22: Relação entre ICEL e ACEL	144

Figura 5.23. Relação entre ICEG e ACEG considerando as curvas de ponderação propostas	148
Figura 5.24: Qualidade estrutural da via	149
Figura 5.25: Árvore de decisão para defeitos estruturais	150

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Classificação dos trilhos	15
Tabela 2.2: Dimensões dos trilhos	15
Tabela 2.3: Dimensões dos dormentes de madeira	18
Tabela 2.4: Dimensões dos dormentes de aço	20
Tabela 2.5: Dimensões dos dormentes de plástico	22
Tabela 2.6: Dimensões das talas de junção	33
Tabela 4.1: Condição do pavimento em função do IGG	66
Tabela 4.2: Condição do pavimento em função do IES	67
Tabela 4.3: Condição do pavimento em função do ICP	70
Tabela 4.4: Definição da classe da ferrovia	73
Tabela 4.5: Classificação das ferrovias de acordo com a FRA	73
Tabela 4.6: Condição da via baseada no índice de irregularidade da Amtrak	74
Tabela 4.7: Tolerâncias definidas pelo método da FRA	76
Tabela 4.8: Valores aceitáveis para diferenças de alinhamento pela FRA	76
Tabela 4.9: Tolerância em milímetros para desvios negativos de bitola	77
Tabela 4.10: Tolerância em milímetros para desvios positivos de bitola	77
Tabela 4.11: Tolerância em milímetros para o alinhamento	77
Tabela 4.12: Tolerância em milímetros para o perfil	77
Tabela 4.13: Tolerância em milímetros para torção	78
Tabela 4.14: Condição da via baseada nos valores de w_5	79
Tabela 4.15: Tolerância em milímetros recomendada pela RISSB	79
Tabela 4.16: Valores de SD	80
Tabela 4.17: Condição da via baseada nos valores de TGI	80
Tabela 4.18: Valores permitidos do índice J em função da velocidade	81
Tabela 4.19: Valores máximos para empeno	82
Tabela 4.20: Valores máximos para nivelamento e alinhamento	83
Tabela 4.21: Categorias da escala dos índices de condição	89
Tabela 4.22: Descrição dos níveis de severidade	90
Tabela 5.1: Valores mínimos para coleta de dados	98
Tabela 5.2: Distribuição estatística dos trechos com defeito em 2008	98
Tabela 5.3: Distribuição estatística dos trechos com defeito no ano de 2009	99
Tabela 5.4: Distribuição estatística dos trechos com defeito em 2010	99

Tabela 5.5: Distribuição estatística dos trechos com defeito em 2011	100
Tabela 5.6: Distribuição estatística dos trechos com defeito em 2012	100
Tabela 5.7: Valores limites adotados	106
Tabela 5.8: Pesos atribuídos para cada defeito	106
Tabela 5.9: Valores aceitáveis propostos para vias novas	108
Tabela 5.10: Valores aceitáveis propostos com restrição de velocidade	108
Tabela 5.11: Valores de segurança propostos	109
Tabela 5.12: Valores limites usados no método	110
Tabela 5.13: Atividades de M&R recomendadas	111
Tabela 5.14: Exemplo dos dados coletados	113
Tabela 5.15: Notas para lastro contaminado	120
Tabela 5.16: Notas para dormente mal conservado e severidade baixa	121
Tabela 5.17: Notas para dormente mal conservado e severidade média	121
Tabela 5.18: Notas para dormente mal conservado e severidade alta	121
Tabela 5.19: Notas para dormente mal conservado e severidade muito alta	122
Tabela 5.20: Notas para dormente mal posicionado e severidade baixa	122
Tabela 5.21: Notas para dormente mal posicionado e severidade média	122
Tabela 5.22: Notas para dormente mal posicionado e severidade alta	123
Tabela 5.23: Notas para dormente faltando	123
Tabela 5.24: Notas para trilhos com 1 tipo de defeito e severidade baixa	123
Tabela 5.25: Notas para trilhos com 2 tipos de defeitos e severidade baixa	124
Tabela 5.26: Notas para trilhos com 3 tipos de defeitos e severidade baixa	124
Tabela 5.27: Notas para trilhos com 4 tipos de defeitos e severidade baixa	124
Tabela 5.28: Notas para trilhos com 1 tipo de defeito e severidade média	125
Tabela 5.29: Notas para trilhos com 2 tipos de defeitos e severidade média	125
Tabela 5.30: Notas para trilhos com 3 tipos de defeitos e severidade média	125
Tabela 5.31: Notas para trilhos com 4 tipos de defeitos e severidade média	126
Tabela 5.32: Notas para trilhos com 1 tipo de defeito e severidade alta	126
Tabela 5.33: Notas para trilhos com 2 tipos de defeitos e severidade alta	126
Tabela 5.34: Notas para trilhos com 3 tipos de defeitos e severidade alta	127
Tabela 5.35: Notas para trilhos com 4 tipos de defeitos e severidade alta	127
Tabela 5.36: Notas para ligação com 1 tipo de defeito e severidade baixa	127
Tabela 5.37: Notas para ligação com 2 tipos de defeitos e severidade baixa	128
Tabela 5.38: Notas para ligação com 3 tipos de defeitos e severidade baixa	128
Tabela 5.39: Notas para ligação com 1 tipo de defeito e severidade baixa	128
Tabela 5.40: Notas para ligação com 2 tipos de defeitos e severidade baixa	129
Tabela 5.41: Notas para ligação com 3 tipos de defeitos e severidade baixa	129

Tabela 5.42: Notas para ligação com 1 tipos de defeitos e severidade alta	129
Tabela 5.43: Notas para ligação com 1 tipos de defeito e severidade muito alta	130
Tabela 5.44: Notas para fixação com 1 tipos de defeito e severidade alta	130
Tabela 5.45: Notas para fixação com 2 tipos de defeito e severidade alta	130
Tabela 5.46: Valores de ICET, ICED, ICEL e ACEG	147
Tabela 5.47: Atividades de M&R recomendadas para a superestrutura	149
Tabela A1: Valores de ponderação	164
Tabela A2: Escalonamento dos valores de ponderação	165
Tabela A3. Valores Totais de Ponderação e Valores Corrigidos de Ponderação	165

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 HISTÓRICO	3
1.1.1 Ferrovias no mundo	4
1.1.2 Mapa ferroviário em alguns países	5
1.1.3 Ferrovias no Brasil	6
1.2 JUSTIFICATIVA	8
1.3 OBJETIVOS	8
1.4 ORGANIZAÇÃO DA TESE	9
2 VIA PERMANENTE	11
2.1 CONCEITOS INICIAIS	11
2.2 COMPONENTES DA SUPERESTRUTURA	12
2.2.1 Trilho	13
2.2.2 Dormente	15
2.2.2.1 Dormentes de madeira	16
2.2.2.2 Dormentes de concreto	18
2.2.2.3 Dormentes de aço	20
2.2.2.4 Dormentes de plástico	21
2.2.2.5 Comparação entre os diferentes materiais usados em dormentes	22
2.2.3 Lastro	24
2.2.4 Acessórios de trilho	26
2.2.4.1 Acessórios de fixação	26
2.2.4.2 Acessórios de ligação	31
2.2.4.3 Placas de apoio	34
3 DEFEITOS NA SUPERESTRUTURA DA VIA	35
3.1 DEFEITOS	36
3.1.1 Defeitos geométricos	36
3.1.1.1 Defeitos de bitola	37
3.1.1.2 Defeitos de nivelamento	39

3.1.1.3 Defeitos no alinhamento	40
3.1.1.4 Empeno	40
3.2 DEFEITOS ESTRUTURAIS	41
3.2.1 Defeitos nos trilhos	41
3.2.2 Defeitos nas juntas	44
3.2.3 Defeitos nos acessórios de fixação	46
3.2.4 Defeitos nas placas de apoio	47
3.2.5 Defeitos nos dormentes	48
3.2.5.1 Dormentes isolados	48
3.2.5.2 Dormentes faltando	49
3.2.5.3 Dormentes mal posicionados	50
3.2.5.4 Grupos de dormentes	51
3.2.5 Defeitos no lastro	53
3.3 EQUIPAMENTOS PARA MANUTENÇÃO	53
3.3.1 Equipamentos leves	54
3.3.2 Equipamentos especiais	55
 4 SISTEMAS DE GERÊNCIA	 57
4.1 AVALIAÇÕES DE PAVIMENTOS	58
4.2 NÍVEIS ADMINISTRATIVOS	58
4.2.1 Gerência em nível de rede	59
4.2.2 Gerência em nível de projeto	59
4.3 IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE GERÊNCIA	59
4.4 ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO	61
4.5 MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DO PAVIMENTO	65
4.6 SISTEMAS DE GERÊNCIA DE VIAS FÉRREAS	70
4.6.1 Análise geométrica	72
4.6.1.1 Conceito	72
4.6.1.2 Classificações das ferrovias	72
4.6.1.3 Índices e limites geométricos no mundo	74
4.6.2 O RAILER e a análise estrutural	83
4.6.2.1 Conceito	83
4.6.2.2 Inspeções	84
4.6.2.3 Inventário da malha	85
4.6.2.4 Atividades de pré-inspeção	85
4.6.2.5 Índices de condição	86
 5 MÉTODOS E ÍNDICES PROPOSTOS	 93
5.1 FERROVIAS EM ESTUDO	93
5.1.1 Superestrutura	94
5.1.2 Características do tráfego	95
5.1.3 Manutenções no trecho	96
5.2 MODELO GEOMÉTRICO	96
5.2.1 Coleta de dados	96
5.2.2 Análise dos dados	98
5.2.3 Composição dos índices geométricos	103
5.3 MODELOS ESTRUTURAIS	111

5.3.1 Caracterização do método	112
5.3.2 Levantamentos de dados	112
5.3.3 Tipos de defeitos	114
5.3.3.1 Grupo de lastro	114
5.3.3.2 Grupo de dormente	114
5.3.3.3 Grupo trilho, juntas e acessórios	114
5.3.4 Níveis de severidade	115
5.3.5 Avaliações subjetivas	118
5.3.6 Densidade	119
5.3.7 Curvas de ponderação	119
5.3.8 Curvas de correção	140
5.3.9 Proposição de índices estruturais individuais e global	142
6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES	151
REFERÊNCIAS	155
ANEXO A - PROCEDIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DO VALOR DE PONDERAÇÃO CORRIGIDO E DOS ÍNDICES ESTRUTURAIS	161
APÊNDICE - TERMO DE CONFIDENCIALIDADE	167

Não diga que a vitória está perdida

Se é de batalhas que se vive a vida

(Raul Seixas)

INTRODUÇÃO

1

As ferrovias brasileiras são responsáveis pelo transporte de aproximadamente 165 milhões de toneladas úteis de carga anualmente – o que representa pouco mais de um quinto da movimentação de cargas no país – por sobre uma malha férrea composta por quase 30 mil quilômetros entre trechos concedidos e não concedidos e que é percorrida por mais de 2,9 mil locomotivas e 92 mil vagões (CNT, 2012).

O escoamento da produção primária no Brasil, especialmente grãos e minérios, necessita ser feito sem interrupções e com segurança, para que os lucros sejam maximizados. As ferrovias devem ser responsáveis por dar esse caráter de permanência no transporte de cargas, embora não é o que ocorra no país; pelo contrário, a atual distribuição da malha férrea nacional se mostra um gargalo na vazão da produção nacional, quer por sua extensão, pela diferença entre as bitolas usadas ou mesmo pelas práticas de manutenção e reabilitação executadas sem critérios técnicos adequados.

Outros problemas encontrados em nossa malha ferroviária refletem a falta de planejamento não só no setor de transportes, mas na infraestrutura urbana nacional como um todo, por exemplo, invasões na faixa de domínio, elevado número de passagens em nível (mais de 12 mil) e a falta de contorno em áreas urbanas. Tudo isso faz com que a velocidade média seja de 25 km/h, valor extremamente baixo, principalmente se confrontada à velocidade média em países desenvolvidos, como nos Estados Unidos, que é de 80 km/h.

Tendo em vista que o principal objetivo de um sistema de transportes é movimentar cargas e pessoas da forma mais segura e confortável possível, sempre buscando economia e desenvolvimento, deve-se procurar diminuir ao máximo o número de acidentes e interrupções do tráfego nas linhas férreas.

As concessões de quase a totalidade da malha ferroviária brasileira trouxeram melhorias na qualidade da via, assim como foram responsáveis pelo aumento na quantidade de toneladas úteis transportadas e respectiva relação com o produto interno bruto (p. ex., a quantidade de cargas movimentadas nas ferrovias brasileiras aumentou em 80% desde 1996). Embora estas melhorias pareçam significativas, o Brasil ainda está distante do que se possa considerar o ideal para um país que se encontra em pleno desenvolvimento, em especial se comparado aos países desenvolvidos, nos quais o transporte de carga por ferrovias ocupa em torno de 40% da matriz de transportes. Contratos de concessão mais bem elaborados e efetiva fiscalização pelos órgãos responsáveis poderia garantir oferta melhor do serviço de transporte, sobretudo com diminuição no número de interrupções no tráfego de trens.

Para que a quantidade de acidentes e interrupções no tráfego de trens seja minimizada, deve-se levar em conta que a deterioração da superestrutura ferroviária ao longo do tempo é esperada, seja ela pela ação do tráfego ou das intempéries, porém é necessário que as ações de intervenção sejam planejadas de forma adequada para que a ferrovia apresente bom desempenho e serventia ao menor custo possível, sobretudo em países com carência de recursos e investimentos.

Um sistema de gerência de pavimentos adequado às ferrovias pode direcionar de forma satisfatória os escassos recursos disponíveis para manutenção e reabilitação da malha férrea, ou parte dela, lançando mão de critérios de priorização e adequação técnica, otimizando, assim, o resultado final.

Um banco de dados completo da malha ferroviária é imprescindível para que o sistema de gerência funcione da forma desejada. Para isso, se faz necessário o levantamento inicial de dados – dados de inventário – que incluem, por exemplo, a definição dos trechos a serem analisados. Com a análise dos dados de inventário é possível determinar o tipo de levantamento de dados a ser executado e o dimensionamento da(s) equipe(s), máquina(s) e equipamento(s) necessários.

Há basicamente três tipos de manutenção passíveis de serem executadas: manutenção corretiva, que é a intervenção não programada, guiada pelo ciclo “quebra-repara”; manutenção preventiva, que é a troca ou reparo regular dos materiais e equipamentos críticos; manutenção preditiva, que é aquela que utiliza de modelos probabilísticos ou estocásticos para prever o tempo, quilometragem ou número de ciclos corretos para que seja feita uma determinada intervenção.

Com o uso da gerência de vias férreas é possível determinar qual manutenção é a mais apropriada e quando se deve executá-la, de forma a utilizar os recursos financeiros disponíveis da melhor forma possível. Para isso, pode-se fazer uso de índices que representem tanto a qualidade da via no momento da análise, quanto desempenho dessa via, ou seja, a serventia que a via apresenta ao longo do tempo e/ou a evolução dos defeitos que a afetam.

1.1 HISTÓRICO

O desenvolvimento de um país está diretamente ligado à sua capacidade e qualidade na movimentação de cargas e pessoas ao longo de seu território. Não

obstante estão as ferrovias, como importante via de ligação e condutora de desenvolvimento, desde os primórdios de sua concepção.

Para o entendimento de como se chegou às ferrovias atuais, vale apresentar não somente um breve histórico sobre sua evolução, mas também o panorama mundial contemporâneo, uma vez que a gerência de vias férreas – com exceção do “quebra-repara” – é, de certo modo, recente.

1.1.1 Ferrovias no mundo

Na segunda metade do século XVIII já eram utilizadas guias para a condução de vagonetas no interior das minas de carvão na Inglaterra. No início essas guias eram construídas em madeira e posteriormente foram substituídas por ferro.

Em 1803, após dois anos de construção, foi inaugurada na Inglaterra a *Surrey Iron Railway*, a primeira ferrovia destinada ao transporte de carga – com tração animal –, ligando Wandsworth a Croyden.

A busca por meios de transporte que agilizassem a movimentação de cargas em prol de lucros mais elevados, aliada à invenção da máquina a vapor, fez com que, em 1804, fosse inventada por Richard Thevithick a primeira locomotiva a vapor realmente funcional que rodasse sobre trilhos, a *Pennydarren*. Essa locomotiva foi capaz de puxar 5 vagões com 10 toneladas e 70 passageiros à velocidade de 5 km/h em um trecho teste.

A primeira ferrovia destinada ao transporte de passageiros foi inaugurada em 1807 e recebeu o nome *Oystermouth Railway*. Nesta ferrovia o transporte ainda era feito por meio de tração animal.

Dez anos se passaram até George Stephenson dar um grande passo no setor ferroviário, apresentando ao mundo a locomotiva *Blucher*, com uma importante mudança, o uso de rodas com frisos, que a impediam de descarrilar.

Stephenson construiu, em 1825, a locomotiva *Locomotion*, que transportou, em sua primeira viagem, 80 toneladas de carvão entre as cidades de Stockton e Darlington; um percurso de 15 km percorrido a velocidade de 20 km/h. O sucesso da *Locomotion* levou à fundação da primeira fábrica de locomotivas do mundo.

As ferrovias rapidamente se tornaram essenciais à movimentação de bens e pessoas na Inglaterra e sua expansão ocorreu de forma acelerada, passando de cerca de 40 km, no ano de 1825, para aproximadamente 6.600 km em 1850, ano em que chegaram aos arredores de Londres, porém sem poder adentrar a cidade, uma vez que não foi permitida a derrubada de casas; para solucionar esse problema foi construída a *Metropolitan Railway* sob o solo, dando origem ao Metrô.

Mapa ferroviário em alguns países

O pico do comprimento da malha ferroviária inglesa se deu por volta de 1930, quando contava com aproximadamente 32.500 km de vias férreas. A partir desse ano a malha férrea foi diminuindo e hoje tem cerca de 15.800 km (DFT, 2012).

O Canadá tem a ferrovia como principal modo de transporte de cargas, respondendo por 70% do total; em suas ferrovias também são transportados 70 milhões de passageiros por ano. Embora cerca de 2.000 km tenham sido desativados nos últimos 10 anos, o país ainda conta com aproximadamente 44.500 km de vias férreas (RAC, 2012).

A inauguração da primeira ferrovia indiana data de 1853, a qual ligava Bombay a Thane em um percurso de 34 km. Hoje, com malha férrea perto de 110.000 km, a Índia está entre os países com a malha férrea mais extensa do mundo (IR, 2012).

A China contava com 80.000 km de ferrovias no final de 2008 (MR, 2012) e em um ano passou a 86.000 km (CIA, 2012). A previsão é que o país gaste € 433 bilhões até 2014 na ampliação do sistema (ANPTRILHOS, 2012).

O Departamento de Estradas de Ferro da Rússia, criado em 1842, foi quem supervisionou a construção da primeira ferrovia russa, que ligava São Petersburgo à Moscou. Já no ano de 1900 a Rússia contava com 44.900 km de ferrovias e no início da Primeira Guerra Mundial, a malha ferroviária russa tinha comprimento de 58.500 km, por onde eram transportados 132.000 toneladas de carga e 185.000 passageiros por ano. O sistema férreo russo sofreu com a Primeira Guerra Mundial e a Guerra Civil, perdendo mais de 60% de sua malha, embora recuperada posteriormente ao longo dos anos. Hoje a Rússia conta com mais de 87.000 km de vias férreas, sendo a segunda malha do mundo em extensão (RR, 2012).

A Argentina é o país que possui atualmente malha férrea mais extensa da América do Sul, com cerca de 34.000 km de vias. A primeira linha férrea argentina foi inaugurada em 1857 com a finalidade de escoar a produção agrícola. Hoje significativa parte da malha encontra-se privatizada na forma de concessão.

1.1.2 Ferrovias no Brasil

No ano de 1828 foi dado início à mobilização pela implantação de ferrovias no Brasil, com a autorização do Governo Imperial para a construção e exploração de estradas, através da lei José Clemente.

Em 1835, durante a regência do Segundo Reinado, o então regente Diogo Antônio Feijó, tentou, sem sucesso, implantar a primeira ferrovia no Brasil, concedendo incentivos a quem construísse uma ferrovia que ligasse o Rio de Janeiro à São Paulo, Rio Grande do Sul, Minas Gerais e Bahia.

A primeira ferrovia do Brasil foi inaugurada em 1854 e ligava o porto de Mauá, na Baía de Guanabara, à raiz da Serra da Estrela, em Petrópolis, num percurso de 14,5 km. Foi idealizada e construída por Irineu Evangelista de Sousa, na época Barão de Mauá. A primeira viagem foi feita pela locomotiva *Baroneza* – nome dado em homenagem à esposa do Barão –, em um tempo de 23 minutos.

Em 1858, nomeada Estrada de Ferro D. Pedro II, foi inaugurada a segunda ferrovia brasileira, a qual, em 1889, quando da Proclamação da República, viria a se tornar Estrada de Ferro Central do Brasil, uma das mais importantes do nosso país.

Em 1877 foi concluída a junção das ferrovias D. Pedro II e Paulista, permitindo a ligação entre Rio de Janeiro e São Paulo.

A construção ferroviária no Brasil teve seu grande momento entre 1911 e 1916. Até então havia cerca de 10 mil km de ferrovias e nesse período foram construídos mais 5 mil km.

Em 1957 foi criada a Rede Ferroviária Federal (RFFSA), vinculada ao Ministério dos Transportes, com a consolidação de 18 ferrovias regionais. Em 1996, época de início de sua desestatização, a RFFSA contava com 22.000 km de vias (RFFSA, 2011).

Em 1971 foi oficializada a Ferrovia Paulista S.A. (FEPASA), com a união de cinco ferrovias: Paulista, Sorocabana, Mogiana, Araraquarense e São Paulo – Minas.

Em 1985 foi concluída a construção da Estrada de Ferro Carajás, que liga a Serra dos Carajás ao porto de Itaqui, no Maranhão.

De 1996 a 1998 ocorreram as privatizações das ferrovias brasileiras.

Atualmente o Brasil conta com aproximadamente 30 mil km de ferrovias, entretanto o plano do Governo Federal é construir mais 20 mil km até o ano de 2025 por meio do Plano Nacional de Logística de Transportes (PNLT), em um orçamento estimado em mais de 150 bilhões de reais. Com isso o setor ferroviário irá representar 35% da matriz nacional de transportes (PNLT, 2009).

1.2 JUSTIFICATIVA

É de consenso de vários autores que a manutenção de via permanente responde por 12% a 30% do custo de operação de uma via férrea, dependendo do uso a que se destina e de sua importância. Nas ferrovias brasileiras, esse gasto ficou em torno de 300 milhões de dólares no ano de 2000, evidenciando que simples melhorias no modo como as manutenções são realizadas implicariam em grande economia para o setor (RODRIGUES, 2001).

Os Estados Unidos gastam, em média, 20 milhões de dólares anualmente com avaliação da condição de sua malha férrea e, mesmo assim, têm perdas da ordem de 50 milhões de dólares anuais devido a descarrilamentos por defeitos na via (LI *et al.*, 2001). Por isso, melhoras no sistema de gerência de ferrovias e as consequentes adequações nas manutenções, levam a economias significativas, além de permitir o escoamento de produtos e insumos mais rapidamente e o transporte de pessoas de maneira mais confortável e segura.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo principal desta pesquisa é a proposição de um sistema de gerência voltado às ferrovias brasileiras.

São objetivos deste trabalho, também:

- Estabelecer os parâmetros mais importantes para análise de ferrovias;
- Estabelecer um procedimento para determinação dos níveis de qualidade geométrica;
- Estabelecer um procedimento para determinação dos níveis de qualidade estrutural;
- Conceber índices que permitam a análise da qualidade e da degradação ao longo do tempo;

- Indicar as manutenções e reabilitações adequadas de acordo com a qualidade da via.

1.4 ORGANIZAÇÃO DA TESE

Este trabalho está dividido em 6 capítulos. Sequencialmente, no Capítulo 2, é apresentada a via férrea como estrutura em todos os seus componentes.

No Capítulo 3 são descritos os defeitos que a via está sujeita, os equipamentos usados para avaliação e equipamentos usados para manutenção e reabilitação da via férrea, além dos tratamentos usuais.

No Capítulo 4 são apresentados conceitos quanto à composição de sistemas gerência de pavimentos e seu uso em ferrovias.

O Capítulo 5 é destinado ao estudo geométrico e estrutural da via férrea com ênfase na realidade brasileira, foco principal desta pesquisa. Neste capítulo são propostos métodos de avaliação da via férrea e, também, índices que qualifiquem as ferrovias em função tanto da condição geométrica, quanto estrutural, o que permite analisar o estado atual da via e sua degradação ao longo do tempo.

Por fim, no Capítulo 6, são apresentadas as conclusões da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

O conhecimento é o processo de acumular dados

A sabedoria reside na sua simplificação

(Martin H. Fischer)

VIA PERMANENTE **2**

2.1 CONCEITOS INICIAIS

A via permanente pode ser entendida como o conjunto que forma a superestrutura de uma via férrea e que está sujeito ao desgaste pelas intempéries e pelo contato com as rodas dos veículos (BRINA, 1979). A nomenclatura via permanente remonta ao início das ferrovias e deve-se ao fato das vias férreas terem propiciado um caráter de permanência às estradas, que antes sofriam com condições adversas, como umidade e congelamento.

O estudo da via permanente, na forma de um sistema estrutural constituído de camadas finitas e assente sobre uma camada semi-infinita, o subleito, permite que seja feito um paralelo com os pavimentos rodoviários, tanto no estudo tensões e deformações, como propõe alguns pesquisadores (MEDINA, 1997; SILVA, 2002),

como também no desempenho, ou serventia, o que leva ao encontro dos estudos direcionados à gerência de pavimentos.

A composição de um sistema de gerência passa pelo conhecimento dos materiais que compõem os pavimentos, sejam eles rodoviários ou ferroviários. Esse capítulo se destina a apresentar os materiais comumente encontrados na composição da via férrea.

2.2 COMPONENTES DA SUPERESTRUTURA

A superestrutura da via férrea é composta por trilhos, dormentes, lastro e acessórios. Consideram-se os demais elementos da via férrea como sendo parte da infraestrutura, que são o subleito e as obras de terraplanagem, os elementos de drenagem e as obras de arte especiais (p. ex. pontes, viadutos etc.). A Figura 2.1 mostra uma seção típica de ferrovia.

Figura 2.1: Seção típica de via férrea (BRINA, 1979).

No começo das construções de ferrovias, assim como de rodovias, não era dada a devida importância aos materiais sobre os quais era construída a via. Somente na metade do século XX, com o estudo do que hoje é conhecido como mecânica dos pavimentos, realizado por pesquisadores como J. Einsenmann, Talbot, Schram, Lomas, Timoshenko e R. Soneville é que a necessária seriedade foi despendida com o assunto.

Atualmente busca-se implantar o conceito de pavimento ferroviário, visando dividir o sistema estrutural em camadas que possam ser estudadas à luz dos conhecimentos de mecânica dos pavimentos (MEDINA e MOTTA, 2006), a qual engloba a compreensão sobre os modelos constitutivos dos materiais componentes da via férrea.

2.2.1 Trilho

O trilho é o elemento da superestrutura que constitui a superfície de rolamento para as rodas dos veículos ferroviários e tem a função de transmitir os esforços aos dormentes (DNIT, 2011).

O modelo comumente usado nos dias de hoje segue o padrão Vignole (Figura 2.2) – nome dado como referência ao engenheiro inglês que o idealizou – e é composto basicamente por três partes:

- i. Boleto: parte superior do trilho, na qual se apoiam e são guiadas as rodas dos veículos;
- ii. Alma: parte estreita e vertical do trilho, entre o boleto e o patim;
- iii. Patim: parte inferior do trilho, mais larga, que se assenta no dormente direta ou indiretamente.

Anteriormente a esse formato de trilho, era largamente usado o trilho de duplo boleto, que possui dois boletos ligados à cada extremidade da alma. Um dos boletos, exercendo a função que hoje cabe ao patim, se apoia em uma peça especial, denominada panela, na qual o trilho é fixado com o uso de cunha.

Figura 2.2: Seção típica de trilho.

O trilho Vignole pode ser fabricado de forma a ficar mais leve, sendo normalmente empregado em vias férreas para vagonetas; este modelo recebe o nome de Decauville.

O tipo de esforços que o trilho está destinado a receber faz com que ele trabalhe semelhantemente a uma viga. Tendo em vista isso, seu formato atual, um duplo T, permite que ele resista satisfatoriamente bem e com economia.

Encontram-se trilhos, no formato comercial, com comprimento de 12, 18 ou 24 metros e podem ser classificados em função do peso por unidade de metro, segundo o padrão da Companhia Siderúrgica Nacional – CSN (Tabela 2.1), que segue a norma ABNT NBR 7590:1991.

Tabela 2.1: Classificação dos trilhos.

Tipo	Equivalente americano	Peso (kgf/m)
TR-25	ASCE 5040	24,65
TR-32	ASCE 6540	32,05
TR-37	ASCE 7540	37,11
TR-45	ASCE 9020	44,64
TR-50	ASCE 10025	50,35
TR-57	ASCE 11525	56,90
TR-68	135 RE	67,56

As dimensões dos trilhos variam de acordo com o tipo, como mostra a Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Dimensões dos trilhos.

FORMATO PADRÃO	Tipo	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)
TR-25	98,4	98,4	54,0	11,1
	TR-32	112,7	112,7	61,1	12,7
	TR-37	122,2	122,2	62,7	13,5
	TR-45	142,9	130,2	65,1	14,3
	TR-50	152,4	136,5	68,2	14,3
	TR-57	168,3	139,7	69,0	15,9
	TR-68	185,7	152,4	74,6	17,4

2.2.2 Dormente

Dormente é a peça na qual os trilhos são apoiados e fixados e que transmite ao lastro parte dos esforços e vibrações produzidos pelos veículos ferroviários.

As dimensões do dormente e a taxa de dormentação – quantidade de dormentes por quilômetro – devem ser adequadamente escolhidas, de modo que os esforços

transmitidos ao lastro não ultrapassem a sua capacidade resistiva. O controle das dimensões também tem o intuito de propiciar adequada rigidez, sem comprometer a elasticidade. Há padronização nas dimensões para os dormentes comuns de acordo com a bitola e o material utilizado; entretanto, existem dormentes especiais, com dimensões diferenciadas, empregados de acordo com a necessidade em aparelhos de mudança de via, pontes/viadutos, junta apoiada e trechos com terceiro trilho.

É de responsabilidade do dormente se opor aos esforços transversais e longitudinais da via, não deixando que a geometria da via se altere, bem como permitir a facilidade de nivelamento do lastro.

O dormente também tem como função, manter o espaçamento entre os trilhos paralelos invariável. A esse espaçamento é dado o nome de *bitola*, que pode ser definida mais especificamente como sendo a distância entre as faces internas dos boletos dos trilhos, tomada na linha normal a essas faces, a 16 mm abaixo do plano constituído pela superfície superior dos boletos.

Há vários materiais usados na fabricação de dormentes; dentre eles podem ser destacados a madeira, o concreto, o aço e o plástico. A escolha do tipo de material deve levar em conta resistência mecânica, resistência ao desgaste, facilidade de obtenção e economia.

2.2.2.1 Dormentes de madeira

O dormente de madeira (Figura 2.3) é o mais comum e o mais utilizado ainda hoje, embora a busca por novos materiais venha crescendo nos últimos anos, devido ao interesse em preservação ambiental e à escassez de madeira por proteção ao desmatamento de árvores nativas e o reflorestamento ineficiente.

Figura 2.3: Dormentes de madeira.

Os dormentes de madeira são classificados quanto à forma em:

- i. Roliço: dormente utilizado na sua forma mais natural, com cortes horizontais feitos apenas nos pontos de pregação. As costaneiras ficam integrais na madeira;
- ii. Semi-roliço: dormente que apresenta apenas a parte superior serrada, onde se fixarão os grampos;
- iii. Duas faces: dormente que apresenta duas faces serradas e duas faces abauladas. As faces serradas ficam nas partes superior e inferior do leito da ferrovia e servem para apoio e fixação dos pregos;
- iv. Prismático: dormente em que as quatro faces são serradas e a peça é esquadrinhada. É a forma mais aprimorada de dormente.

A durabilidade dos dormentes de madeira está condicionada a fatores como espécie, qualidade e tratamento da madeira, clima, drenagem da via, característica do tráfego, acessórios de apoio e fixação, tipo de lastro e manutenção adequada.

Via de regra, os dormentes de madeira recebem tratamento antes do uso, com o intuito de protegê-los contra a ação de fungos, bactérias e insetos. Esse tratamento normalmente é feito com a impregnação de creosoto, sob pressão, em uma autoclave.

A ABNT NBR 7511:2005 estabelece valores para as dimensões dos dormentes, de acordo com a bitola (Tabela 2.3).

Tabela 2.3: Dimensões dos dormentes de madeira.

Bitola	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)
Estreita (1,00m)	200	22	16
Larga (1,60m)	280	24	17

2.2.2.2 Dormentes de concreto

Os primeiros dormentes de concreto foram inicialmente produzidos no final do século XIX, embora fossem muito pouco usados até a década de 1940, época em que começou a escassez de madeira, sobretudo na Europa, devido à 2ª Guerra Mundial.

No início, os dormentes de concreto eram afetados por muitas trincas e fissuras, especialmente no meio da peça, devido principalmente à vibração gerada pelo tráfego e ao apoio irregular sobre o lastro, uma vez que submetido às altas cargas, o momento fletor é extremamente elevado.

Nos últimos 60 anos houve considerável progresso na fabricação de dormentes de concreto em consequência de inúmeras pesquisas realizadas, tornando-o uma opção atrativa em muitos casos. Depois de todos esses anos de pesquisas e de diversos modelos estudados, apenas dois tipos se mostraram econômica e tecnicamente viáveis, sendo eles os dormentes bi-bloco de concreto armado e o monobloco de concreto protendido, cada um com vantagens peculiares que os direciona para determinado uso.

- i. Dormente bi-bloco de concreto armado: consiste basicamente de dois blocos de concreto armado interligados por um perfil metálico (Figura 2.4). Este desenho permite que os dormentes sejam mais leves, com apoio sobre o

lastro mais bem definido e elimina os riscos de fratura no centro do dormente, por flexão negativa e perda de estabilidade, resultante do apoio da parte central do dormente sobre o lastro. Outro ponto vantajoso é que, nessa forma, os dormentes apresentam o dobro da área de apoio lateral.

Figura 2.4: Dormente bi-bloco de concreto armado.

- ii. Dormente monobloco de concreto protendido: consistem basicamente de uma viga monolítica de concreto protendido (Figura 2.5). Este tipo de desenho apresenta elevada estabilidade devido ao peso próprio, permite o uso em bitolas mistas e aparelhos de mudança de via.

Figura 2.5: Dormente monobloco de concreto protendido.

2.2.2.3 Dormentes de aço

Os dormentes de aço (Figura 2.6) começaram a ser fabricados na Alemanha, no ano de 1891. Com o início da 2ª Grande Guerra Mundial, a produção de aço foi destinada para fins bélicos, fazendo com que a fabricação de dormentes desse material praticamente parasse, voltando a serem usados somente alguns anos após o final da guerra.

Figura 2.6: Dormentes de aço.

O dormente de aço consiste basicamente de uma chapa de aço laminada de 10 ou 12 mm, em formato de U invertido, com curvas nas extremidades para melhor fixação no lastro. A Tabela 2.4 apresenta as dimensões dos dormentes de aço.

Tabela 2.4: Dimensões dos dormentes de aço.

Bitola	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)
Estreita (1,00 m)	220	26	9
Padrão (1,435 m)	270	26	9
Larga (1,60 m)	280	26	9

O uso do aço faz com que os dormentes gerem ruídos elevados, além de ter o inconveniente de ter alta condutividade. Outro ponto inconveniente no uso desses dormentes é a dificuldade e a fragilidade das fixações – feita através de parafusos e castanhas –, que requerem manutenção constante. A solução foi o uso de fixação

GEO (item 2.2.3), contudo essa solução, embora mais moderna e durável, pode se mostrar cara, já que cada perfil de trilho tem uma fixação GEO específica, o que acarretaria em substituição do dormente caso o perfil do trilho seja mudado.

Por ser um dormente relativamente leve, é mais facilmente assentado, porém, não tem boa resposta em vias com tráfego pesado.

O preço de instalação ainda não é um atrativo para este tipo de solução, uma vez que o aço é caro e adequado a diversos outros usos considerados mais nobres.

2.2.2.4 Dormentes de plástico

Os dormentes de plástico são fabricados por extrusão, usando compósitos de plásticos reciclados e fibras de vidro.

O uso do plástico para essa finalidade ainda é relativamente recente, já que os estudos começaram a ser feitos em 1994, pela *U. S. Plastic Lumber Corporation*. No Brasil, a primeira fabricante desse tipo de dormente foi a *Wisewood S/A*.

A cor e a forma desses dormentes os associam diretamente com os dormentes de madeira (Figura 2.7), embora os dormentes de plásticos tenham ranhuras e rugosidades que aumentam a resistência lateral.

Figura 2.7: Dormentes de plástico.

As características das peças fabricadas no Brasil estão expressas na Tabela 2.5.

Tabela 2.5: Dimensões dos dormentes de plástico.

Bitola	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Massa (kg)
Estreita (1,00m)	200	24	17	70
Padrão (1,435m)	230	24	17	85
Larga (1,60m)	280	24	17	100

Esse tipo de dormente é totalmente reciclável, se mostrando extremamente favorável ao meio ambiente.

2.2.2.5 Comparação entre os diferentes materiais usados em dormentes

Cada material usado na fabricação de dormentes, descrito anteriormente, possui vantagens e desvantagens, as quais devem ser analisadas conjuntamente na hora de escolher qual é o mais adequado para determinada situação.

O Quadro 2.1 apresenta um resumo dessas características de cada um desses materiais.

Material	Vantagens	Desvantagens
Plástico	<ul style="list-style-type: none">• Bom isolante térmico• Totalmente reciclável• Elevada vida útil (~50 anos)• Impermeável• Inerte• Possibilidade de uso em conjunto com dormentes de madeira• Incombustível	<ul style="list-style-type: none">• Elevado custo inicial

Quadro 2.1: Característica de dormentes de acordo com o material de fabricação.

Material	Vantagens	Desvantagens
Concreto	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada vida útil (~50 anos) • Inerte e não tóxico • Elevada resistência lateral • Incombustível • Invulnerável a fungos • Reciclável 	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilidade de comprometimento da fixação • Não reutilizável • Não suporta descarrilamento • Difícil instalação e manutenção • Não permite a correção de bitola • Elevado custo inicial
Madeira	<ul style="list-style-type: none"> • Bom isolante térmico quando não saturado • Reutilizável • Fácil instalação e manutenção • Permite correção de bitola • Adequada resistência lateral • Baixo custo inicial • Rolamento suave • Boa absorção em descarrilamentos • Uso de todo tipo de fixação 	<ul style="list-style-type: none"> • Não pode ser reciclado • Menor vida útil (~25 anos) • Combustível • Alta toxidade • Necessidade de reflorestamento • Crescente escassez de matéria-prima
Ferro	<ul style="list-style-type: none"> • Reciclável • Elevada vida útil (~60 anos) • Inerte e não tóxico • Baixo custo de instalação • Incombustível • Elevada estabilidade lateral 	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilidade de comprometimento da fixação • Não permite a correção de bitola • Difícil substituição • Não é isolante • Apresenta problemas para trilhos longos soldados • Susceptível à corrosão química e galvânica

Quadro 2.1: Característica de dormentes de acordo com o material de fabricação (continuação).

2.2.3 Lastro

Lastro é compreendido como a parte da superestrutura ferroviária que distribui uniformemente na plataforma os esforços da via férrea que são transmitidos através dos dormentes (DNIT, 2011).

Um lastro bem dimensionado, além de resistir bem à ruptura, ao desgaste e às intempéries, tem a função de impedir o deslocamento longitudinal e transversal dos dormentes, através de travamento; corrigir as irregularidades da plataforma, provendo a via com uma superfície contínua e uniforme para o assentamento dos dormentes; garantir a elasticidade da via e, quando necessário, facilitar a restauração e manutenção de sua geometria. Além disso, deve permitir a drenagem de águas da superestrutura, com adequada permeabilidade e ventilação e, ainda, evitar bolsas de lama e poeira.

O material comumente usado no lastro é a pedra britada (Figura 2.8), porém podem ser usados outros materiais, como terra, areia, cascalho, escória ou outro material granular. Borges Neto (2010) caracteriza alguns desses materiais usados como lastro da seguinte forma:

- i. Terra: o mais barato, porém o de pior qualidade. Normalmente saturável por água, o que causa desnivelamento na linha (“linha laqueada”) e, por consequência, descarrilamentos;
- ii. Areia: drenante e pouco compressível, entretanto é deslocável com facilidade na presença de água. Produz poeira, que serve de abrasivo ao material rodante e causa desconforto ao rolamento;
- iii. Cascalho: lastro com mais qualidade que os anteriores. Possui arestas vivas no caso de sofrer britagem, no entanto pode ser usado na forma natural, encontrada nas cascalheiras, necessitando, contudo, de lavagem para remoção de terra e outras impurezas;

- iv. Escória: material oriundo de usinas siderúrgicas. Alguns possuem a dureza e resistência necessárias à aplicação;
- v. Pedra britada: o melhor tipo de lastro, pois resiste bem à abrasão, aos agentes atmosféricos e químicos. Além disso, possui boa permeabilidade, não gera poeira e permite que a via tenha adequada elasticidade e bom nivelamento.

Figura 2.8: Lastro.

As normas brasileiras, para lastros de pedra britada, seguem as normas americanas (*American Railway Engineering Association – AREA*), padronizando alguns parâmetros:

- Peso específico mínimo: $2,7 \text{ tf/m}^3$ ($26,5 \text{ kN/m}^3$);
- Resistência à ruptura: 700 kgf/cm^2 ($6,87 \text{ kN/cm}^2$ ou 70 MPa);
- Solubilidade: Insolúvel;
- Absorção: aumento de peso $\leq 8 \text{ gf/dm}^3$;
- Substâncias nocivas: $\leq 1\%$ (peso) de substâncias nocivas e torrões de argila;
- Granulometria: $\frac{3}{4}'' < d < 2 \frac{1}{2}''$ ($2,0 \text{ cm} < d < 6,0 \text{ cm}$).

Pode-se lançar mão de uma camada intermediária entre o lastro e a plataforma, denominada sublastro. O sublastro é constituído por material menos nobre que o lastro, por isso pode resultar em economia da estrutura, além de melhorar o padrão técnico da superestrutura e diminuir gastos com manutenção.

O sublastro melhora a elasticidade da via, impede que haja cravamento do lastro na plataforma e a protege contra erosão e penetração de água.

2.2.4 Acessórios de trilho

Os acessórios de trilhos são peças que têm a função de fixar os trilhos nos dormentes ou em outros trilhos, nomeados respectivamente de acessórios de fixação e acessórios de ligação.

2.2.4.1 Acessórios de fixação

A função dos acessórios de fixação é ancorar os trilhos aos dormentes. Essa ancoragem pode ser de dois tipos, rígida ou elástica.

2.2.4.1.1 Fixação rígida

A fixação rígida, como o próprio nome sugere, não permite flexibilidade aos trilhos, forçando um engastamento. Fixações deste tipo não têm a capacidade de absorver parte dos esforços gerados pela ação do tráfego, como vibrações e impactos. As mais usadas são o prego de linha (ou grampo de linha) e o tirefond (ou tirefão).

- i. Prego de linha: é o tipo de fixação mais simples. Tem forma retangular, com seu final em formato de cunha e sua cabeça apresenta uma saliência, que se apoia ao patim (Figura 2.9). A cravação pode ser feita de forma manual, com o uso de marreta, ou mecânica.

Figura 2.9: Prego de linha.

- ii. Tirefond: é um parafuso auto-roscante (rosca soberba), como mostra a Figura 2.10. A fixação no dormente é feita com um equipamento chamado convenientemente de tirefonadeira (Figura 2.11), a qual se encaixa perfeitamente na cabeça do parafuso.

O tirefond apresenta algumas vantagens sobre o prego de linha, como maior resistência ao arrancamento e vedação do furo no dormente, o que impede a entrada de água. O prego de linha sacrifica mais as fibras da madeira, podendo ocasionar até rachadura (BRINA, 1979).

Figura 2.10: Tirefond.

Figura 2.11: Tirefonadeira.

Quando se lança mão de fixação rígida é indispensável o uso de retensores (Figura 2.12), que são acessórios desenvolvidos para impedir o deslocamento longitudinal

dos trilhos. Os retensores são fixados ao patim por pressão e encostados à lateral do dormente.

Figura 2.12: Retensores.

2.2.4.1.2 Fixação elástica

A fixação elástica permite maior conforto na via ao absorver parte dos esforços da via e permitir que os veículos circulem com mais suavidade. Existem diversos tipos de fixações elásticas no mercado, podendo ser usadas em todos os tipos de dormentes. As mais conhecidas são:

- i. Tipo GEO: nesse tipo de fixação há uma placa de aço com nervuras, fixada no dormente, na qual se encaixam parafusos que apertam uma castanha contra o patim (Figura 2.13). O que torna essa fixação elástica é uso de arruelas entre a castanha e o parafuso;

Figura 2.13: Fixação elástica tipo GEO.

- ii. Grampo elástico simples: grampo fabricado em aço doce, com a seção da haste, que se fixa ao dormente, aproximadamente quadrada. A parte superior é curva, funcionando como um retensor ao prender o trilho pelo patim (Figura 2.14);

Figura 2.14: Fixação elástica tipo grampo simples.

- iii. Grampo elástico duplo: funciona basicamente como o anterior, porém com duas hastes, que se fixam no dormente ou na placa de apoio (Figura 2.15);

Figura 2.15: Fixação elástica tipo grampo duplo.

- iv. Tipo Pandrol: fabricada em aço mola, possui seção circular e prende o trilho pelo patim, com o uso de placas de apoio especiais. Existem diversos modelos a serem usados de acordo com o local desejado (Figura 2.16);

Figura 2.16: Fixação elástica tipo Pandrol.

- v. Tipo Deenik: este tipo de fixação (Figura 2.17) permite pequenas movimentações no trilho, dissipando energias como a gerada pela dilatação térmica;

Figura 2.17: Fixação elástica tipo Deenik.

vi. Tipo RN: grampo de aço doce que pressiona o patim contra o dormente (Figura 2.18). Entre a base do patim e o dormente usa-se uma almofada de borracha ranhurada para aumentar a elasticidade do conjunto.

Figura 2.18: Fixação elástica tipo RN.

2.2.4.2 Acessórios de ligação

Tem a função de ligar um trilho a outro, dando continuidade à via. Essa ligação deve ser feita de tal forma que não haja travamento total, garantindo que os esforços devidos à dilatação térmica sejam dissipados, para isso são usadas talas de junção (Figura 2.19), parafusos e arruelas.

Figura 2.19: Talas de junção.

As talas de junção podem ser angulares ou planas (Figura 2.20) e ter 4 ou 6 furos (Figura 2.21); são posicionadas de ambos os lados da alma do trilho e fixadas com parafusos e arruelas. As dimensões das talas de junção estão apresentadas na Tabela 2.6.

Figura 2.20: Talas de junção – Tipos (Fonte: Brasil Trilhos).

Figura 2.21: Talas de junção – Furos (Fonte: Brasil Trilhos).

Tabela 2.6: Dimensões das talas de junção.

Tipo	Massa (kg)		E (mm)	H (mm)	J (mm)	L (mm)	J1 (mm)	L1 (mm)	P (mm)	K (mm)
	4 furos	6 furos								
25	5,8	-	139,7	139,7	95,2	609,5	-	-	22,2	28,6
32	8,4	-	139,7	139,7	95,2	609,5	-	-	22,2	28,6
37	9,4	14,0	139,7	139,7	95,2	609,5	108,0	914,5	25,4	31,7
45	14,0	21,1	139,7	139,7	95,2	609,5	108,0	914,5	27,0	35,7
50	15,2	22,8	139,7	139,7	95,2	609,5	108,0	914,5	27,0	35,7
57	16,5	25,0	152,4	181,0	61,9	609,5	61,9	914,5	27,0	35,7
68	17,1	25,6	152,4	181,0	61,0	609,5	61,9	914,5	27,0	35,7

Fonte: Brasil Trilhos.

Para a fixação das talas de junção ao trilho são usados parafusos comuns (Figura 2.22), com porcas que se encaixam na tala, facilitando o aperto. As arruelas têm a função de evitar o afrouxamento dos parafusos devido à trepidação da linha, sendo mais usada a do tipo grower (Figura 2.23).

Figura 2.22: Parafuso para tala de junção.

Figura 2.23: Arruelas para talas de junção.

2.2.4.3 Placas de apoio

Comumente, no sistema de fixação, são usadas placas de apoio (Figura 2.24), que são elementos colocados entre o trilho e o dormente com o intuito de aumentar a área de atuação das cargas e, com isso, melhorar a distribuição de esforços e evitar que o trilho corte o dormente. Placas com furos assimétricos são comuns e têm a função de prevenir rachaduras no dormente.

Figura 2.24: Placa de apoio.

As placas de apoio são fabricadas de tal modo que o trilho sobre elas apoiado fique com uma inclinação de 1:20 para o lado interno da via, visando prolongar a vida útil do material rodante e do boleto dos trilhos.

*A leitura de um bom livro é um diálogo incessante:
O livro fala e a alma responde*

(André Maurois)

DEFEITOS NA SUPERESTRUTURA DA VIA **3**

A via férrea, como qualquer pavimento, está sujeita a defeitos causados pelas ações do tráfego e do clima. Esses defeitos podem ser divididos de várias formas, de acordo com o material constituinte da superestrutura ferroviária ou mesmo uma determinada região que ele ocorra no pavimento ferroviário.

É essencial o conhecimento acerca de cada defeito, onde ocorrem e o porquê, para que se possa tomar a decisão adequada de intervenção e o momento em que a mesma deve ser feita.

Existem máquinas e equipamentos especiais usados para identificar os defeitos, que medem as características da via e identificam os trechos problemáticos. No entanto, essa análise pode ser feita, também, de forma visual, por caminhamento ou em veículo. Embora a inspeção visual tenha rendimento muito menor que a automatizada, ela apresenta bons resultados e ainda é muito usada.

Identificados os tipos de defeitos e as atividades de manutenção ou reabilitação adequadas, lança-se mão de máquinas e equipamentos próprios para se corrigir cada tipo de defeito em particular.

Neste capítulo são descritos os tipos de defeitos comumente encontrados na superestrutura ferroviária, quais as manutenções recomendadas para cada caso e os tipos de máquinas e equipamentos disponíveis para executarem essas inspeções e intervenções.

3.1 DEFEITOS

Os defeitos encontrados na superestrutura da via férrea podem ser divididos basicamente em duas grandes categorias, geométricos ou estruturais. Os defeitos geométricos estão ligados à posição espacial da via e os estruturais aos materiais componentes da superestrutura ferroviária.

Cada tipo de defeito pode se apresentar com grau de degradação distinto, que recebe o nome de severidade, a qual pode ser classificada como baixa, média, alta ou muito alta. Quanto maior o grau de severidade com que um defeito aparece, menor a qualidade geométrica ou estrutural da via.

Nem todos os tipos de defeitos abrangem toda a gama de severidades existentes, pois podem tornar alguns materiais inservíveis ou a geometria estritamente imprópria mesmo antes de chegarem ao grau de severidade mais elevado.

3.1.1 Defeitos geométricos

A superestrutura da via férrea é responsável por receber as cargas oriundas do tráfego e direcioná-las de forma adequada ao subleito, sem permitir que o mesmo se rompa ou se deforme de forma excessiva. A resposta da via a essas cargas não é

puramente elástica; o lastro, por exemplo, responde de forma semielástica, ou seja, parte das deformações às quais o lastro está sujeito permanece de forma residual, gerando diferença com relação à posição original que ele se encontrava, assim como defeitos nos acessórios de fixação, acessórios de ligação ou na colocação dos dormentes podem fazer com que o trilho se afaste da posição original.

Quando o desvio que o trilho sofre com relação à posição original ou à posição para a qual foi projetado acontece fora de limites aceitáveis dá-se o nome de defeito geométrico.

Os defeitos geométricos podem ocorrer transversalmente, longitudinalmente e verticalmente em relação à via ou em forma de torção. Em cada um desses planos é possível dividir os defeitos com relação a variações na bitola, no nivelamento, no alinhamento ou no empeno.

Pode-se, ainda, considerar como defeito a superelevação empregada nas curvas com o intuito de ajudar o veículo a vencer a força centrífuga, desde que passe de valores aceitáveis.

3.1.1.1 Defeitos de bitola

O comprimento da bitola muitas vezes sofre alterações em suas medidas, as quais podem ser divididas em negativas ou positivas. Quando as alterações nas medidas da bitola forem positivas, dá-se o nome de alargamento da bitola (Figura 3.1a) e quando as medidas forem negativas, de estreitamento da bitola (Figura 3.1b).

Variações excessivas na bitola podem fazer com que o trem descarrile ou tenha perda de estabilidade, por isso essas alterações devem ser controladas de forma criteriosa.

Figura 3.1: Defeitos de bitola.

Normalmente os defeitos na bitola estão associados a problemas em outros componentes da superestrutura, que podem ocorrer:

- Nas placas de ligação, placas de apoio, parafusos e tirefonds soltos ou ausentes;
- Nas juntas quebradas;
- Nos dormentes ou grupos de dormentes deslocados, ausentes ou laqueados;
- Nos boletos desgastados.

A verificação da condição da bitola pode ser feita de três formas:

- (i) Bitola máxima e mínima;
- (ii) Variação da bitola entre dois dormentes sucessivos;
- (iii) Variação máxima da bitola em um determinado comprimento de corda, normalmente de 20 m.

O controle da bitola é primordial, pois a tolerância às variações é muito baixa, sobretudo a negativa, o que torna este um parâmetro essencial à qualidade da via.

3.1.1.2 Defeitos de nivelamento

O nivelamento da via normalmente é medido de forma longitudinal em cada um dos trilhos separadamente, no entanto também há levantamentos transversais à via.

A diferença de nível entre a posição original do trilho e a deslocada, medida ao longo de uma determinada corda, mostra o quão desnivelado está o trilho (Figura 3.2)

Figura 3.2: Trilho desnivelado.

Normalmente este tipo de defeito está associado à dormentes ou grupo de dormentes ausentes ou laqueados, juntas dos trilhos desniveladas ou soltas, problemas no lastro ou no subleito e trilho corrugado.

A ocorrência de desnivelamento do trilho faz com que a superestrutura esteja sujeita a movimentos de impacto com o material rodante, denominado “movimento de galope”, que aumenta o desconforto na viagem, o consumo de energia e a instabilidade, além de proporcionar maiores desgastes ao pavimento ferroviário e às suspensões dos trens.

3.1.1.3 Defeitos no alinhamento

O alinhamento é o eixo de referência para cada trilho ou o local onde a via deve passar. Desvios no alinhamento são permitidos, desde que dentro de determinado limite, além do qual são considerados defeitos.

Desalinhamentos podem ser medidos separadamente para cada trilho e normalmente estão associados aos problemas de fixação dos trilhos ao dormente, à dormentes laqueados ou a defeitos nos trilhos, como quebra ou deformação.

3.1.1.4 Empeno

Para medir-se o empeno usa-se uma corda de 20 metros e toma-se 4 ou 6 pontos (2 ou 3 em cada trilho) de forma a obter-se um retângulo e o valor do empeno é a diferença que um desses pontos apresenta com relação aos outros que formam o retângulo. Pode-se, também, entender empeno como sendo a máxima diferença entre superelevações medidas dentro de uma determinada corda – normalmente de 20 m (Figura 3.3).

Figura 3.3: Empeno.

Este tipo de defeito também pode receber o nome de torção, do inglês *twist*, embora quando receba essa terminologia, normalmente está associado à corda de 10 metros.

É importante controlar o empeno de uma via férrea, haja vista que o truque do trem tem elevada rigidez e não acompanha a deformação dos trilhos, o que pode ocasionar descarrilamento.

Normalmente estão associados a problemas encontrados nos acessórios de fixação, nos dormentes ou no próprio trilho.

3.2 DEFEITOS ESTRUTURAIS

Os defeitos estruturais referem-se a problemas nos materiais que compõem a via férrea e, portanto, podem ser divididos conforme esses materiais. É comum a ocorrência de alguns tipos de defeitos associados ou em conjunto e o conhecimento desse fato é de extrema importância no planejamento das intervenções, bem como no cálculo de custos.

3.2.1 Defeitos nos trilhos

Definição:

Defeitos nos trilhos abrangem tudo o que reduz a força ou a funcionalidade do trilho. De acordo com o manual do RAILER, que é o programa de gerência de vias férreas proposto pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACERL, 1998), há trinta e três defeitos internos e externos que são possíveis de ocorrerem nos trilhos e podem ser separados dentro de níveis específicos de severidade. Vale salientar que as unidades foram convertidas do padrão inglês para o padrão internacional e os arredondamentos em função disto.

Classificação:

Severidade baixa:

- Trilho dobrado;
- Lascas ou dentes no boleto ≥ 6 mm;
- Corrugações;
- Queima do boleto por patinação ≥ 6 mm;

- Descamação;
- Defeitos de fabricação;
- Alargamento ≥ 6 mm;
- Comprimento do trilho $< 3,96$ m;
- Trincas superficiais no boleto;
- Lascas superficiais fora do boleto.

Severidade média:

- Trinca na furação da alma ≤ 13 mm;
- Trinca na base ≤ 15 cm;
- Fissura composta $\leq 20\%$ da área;
- Corrosão na base;
- Esmagamento do boleto;
- Fratura detalhada $\leq 20\%$ da área;
- Depressão na superfície de rolamento da junta > 6 mm;
- Ruptura devido à queima do boleto por patinação $\leq 20\%$ da área;
- Trincamento na concordância entre alma e boleto ≤ 6 mm;
- Trinca horizontal no boleto ≤ 5 cm;
- Encanamento de trilho ≤ 13 mm;
- Dano na superfície de rolamento;
- Desgaste lateral;
- Trinca na alma ≤ 13 mm;
- Corte no trilho feito por maçarico;
- Fissura transversal $\leq 20\%$ da área;
- Trinca vertical no boleto ≤ 5 cm;
- Desgaste vertical.

Severidade alta:

- Trinca na furação da alma > 13 mm e ≤ 38 mm;
- Trinca na base > 15 cm e ≤ 30 cm;
- Fissura composta $> 20\%$ e $\leq 40\%$ da área;
- Fratura detalhada $> 20\%$ e $\leq 40\%$ da área;

- Ruptura devido à queima do boleto por patinação > 20% e $\leq$ 40% da área;
- Trincamento na concordância entre alma e boleto > 13 mm e $\leq$ 76 mm;
- Trinca horizontal no boleto > 5 cm e $\leq$ 10 cm;
- Encanamento de trilho > 13 mm e $\leq$ 76 mm;
- Trinca na alma > 13 mm e $\leq$ 76 mm;
- Furo por maçarico;
- Fissura transversal > 20% e $\leq$ 40% da área;
- Trinca vertical no boleto > 5 e $\leq$ 10 cm;
- Defeitos na solda.

Severidade muito alta:

- Trinca na furação da alma > 38 mm ou quebra;
- Trinca da base > 30 cm;
- Quebra completa - limpa e quadrada ou áspera e angular;
- Fissura composta > 40% da área;
- Ruptura detalhada > 40% da área;
- Ruptura devido à queima do boleto por patinação > 40% da área;
- Trincamento na concordância entre alma e boleto > 76 mm ou quebra;
- Trinca horizontal no boleto > 10 cm ou quebra;
- Encanamento de trilho > 76 mm ou quebra;
- Fenda na alma > 76 mm ou quebra;
- Fissura transversal > 40% da área;
- Trinca vertical no boleto > 10 cm ou quebra.

Medição:

As medidas dos defeitos devem ser executadas em cada trilho separadamente e deve-se contar o número de vezes que cada defeito ocorre em cada trilho, exceto para defeitos de severidade baixa, os quais só devem ser contados se houver presença de defeitos diferentes em um dado trilho (isto é, não contar o número de lascas, local de bombeamento etc.)

Os trilhos com mais de 12 metros devem ser divididos em trilhos-equivalentes com comprimento de 12 metros ou menos. A densidade dos defeitos é determinada por:

$$Densidade = \frac{N^{\circ} \text{ de trilhos afetados com dado número de ocorrência de defeitos}}{N^{\circ} \text{ de trilhos da unidade da amostra}}$$

Causa:

Defeitos em trilho resultam de problemas de controle de qualidade no processo de fabricação, instalação imprópria ou manuseio impróprio, falta de manutenção e efeitos ambientais. Além disso, repetidas solicitações das cargas de roda induzem às tensões e deformações excessivas ou repetidas, levando a danos por fadiga, desgaste e fluência do metal.

3.2.2 Defeitos nas juntas

Definição:

Defeitos nas juntas incluem todos os itens que reduzem a resistência ou funcionalidade das juntas.

Classificação:

Severidade baixa:

- Tala de junção quebrada ou trincada (não no centro);
- Parafuso defeituoso ou faltando;
- Tala de junção de tamanho ou tipo impróprio;
- Parafuso de tamanho ou tipo impróprio;
- Parafuso solto;
- Solda ou tala de junção alterada.

Severidade média:

- Todos os parafusos da junta soltos;
- Tala de junção corroída;
- Uma tala de junção quebrada no centro ou faltando;
- Uma tala de junção trincada no centro;
- Somente um parafuso por final de trilho;
- Espaçamento entre trilhos > 25 mm e ≤ 50 mm;
- Incompatibilidade entre trilhos subsequentes > 5 mm e ≤ 6 mm.

Severidade alta:

- As duas talas de junção quebradas no centro.

Severidade muito alta:

- Todos os parafusos para ligação de trilhos quebrados ou faltando;
- As duas talas de junção faltando;
- Espaçamento entre trilhos > 50 mm;
- Incompatibilidade entre trilhos subsequentes > 6 mm.

Medição:

As medidas devem ser feitas em todas as juntas e para cada defeito (p. ex. parafuso solto é considerado uma ocorrência separada em cada junta). Entretanto, como aplicação, somente os mais altos níveis de severidade devem ser registrados para um componente específico (p.ex., se um defeito de severidade muito alta referente a todos os parafusos quebrados ou faltando em um final de trilho, o defeito de severidade baixa referente a um defeito individual de parafusos faltando não é contado para o mesmo final de trilho).

Quando os trilhos forem maiores que 12 metros, deve-se dividi-los em trilhos-equivalentes de 12 metros. A quantidade de defeitos por trilho é dada por:

$$Densidade = \frac{N^{\circ} \text{ de juntas afetadas com dado número de ocorrência de defeitos}}{N^{\circ} \text{ de juntas da unidade da amostra}}$$

Causa:

Defeitos em juntas resultam de instalação imprópria, falta de manutenção e efeitos ambientais. A carga de roda repetida também induz tensões, deflexões e vibrações que conduzem à fadiga e a parafusos e talas soltos.

3.2.3 Defeitos nos acessórios de fixação

Definição:

Acessórios de fixação são considerados defeituosos se eles falham em fixar o trilho adequadamente ao dormente ou se eles são colocados em padrão ou posição impróprios.

Classificação:

Severidade baixa:

- Padrão ou posição impróprios.

Severidade média:

- Acessórios de fixação soltos, dobrados, quebrados, faltantes ou com defeitos diversos.

Medição:

Se os pregos ou outros acessórios estão soltos ou faltando devido ao defeito ser do dormente, este defeito não deve ser contado. A medição é feita em cada prego, clipe etc. e a densidade é dada por:

$$Densidade = \frac{N^{\circ} \text{ de pregos defeituosos etc.}}{N^{\circ} \text{ de dormente na amostra} \times 4}$$

Há necessidade de se multiplicar o denominador por 4, pois são usados 4 pregos ou parafusos por unidade.

Causa:

Defeitos nos acessórios de fixação ocorrem devido à instalação imprópria, dormentes defeituosos, vibrações e deflexões impostas pelas operações do tráfego.

3.2.4 Defeitos nas placas de apoio**Definição:**

Placas de apoio são consideradas defeituosas se elas estiverem em posição imprópria, trincadas, dobradas, quebradas ou corroídas.

Medição:

Nesse tipo de defeito não são considerados níveis de severidade e a densidade é dada por:

$$Densidade = \frac{N^{\circ} \text{ de placas de apoio defeituosas}}{N^{\circ} \text{ de dormente na amostra} \times 2}$$

Há necessidade de se multiplicar o denominador por 2, pois são usados 2 placas de apoio por dormente.

Causa:

Placas de apoio defeituosas geralmente ocorrem por manuseio ou instalação impróprios, dormentes defeituosos e acessórios de fixação faltantes. Vibrações, deflexões e excessiva carga de roda imposta pelas operações do tráfego podem causar danos às placas de apoio, como quebra, dobra ou trinca por fadiga.

3.2.5 Defeitos nos dormentes

Os defeitos são considerados diferentemente em dormentes isolados ou em grupos.

3.2.5.1 Dormentes isolados

Definição:

Podem ser considerados defeituosos se estiverem ocos, podres, deslocados, danificados a ponto de não permitirem fixação, quebrados, cortados ou deteriorados. Podem ser alocados de acordo com a severidade em:

Classificação:

Severidade baixa:

- Localizados em qualquer parte, desde que não na junta dos trilhos e danificado até 10%.

Severidade média:

- Localizados em qualquer parte, desde que não na junta dos trilhos e danificado mais que 10%.

Severidade alta:

- Localizados na junta dos trilhos e danificado até 10%.

Severidade muito alta:

- Localizados na junta dos trilhos e danificado mais que 10%.

Medição:

A densidade desse defeito é dada por:

$$Densidade = \frac{N^{\circ} \text{ de dormentes defeituosos}}{N^{\circ} \text{ de dormentes na amostra}}$$

Causa:

Os defeitos podem ser oriundos de causas naturais, como apodrecimento, infestação de insetos, trincas ou quebra por envelhecimento. Podem aparecer também devido a fatores climáticos, má drenagem, desgaste mecânico, falta de suporte do lastro, má instalação, descarrilamento etc.

3.2.5.2 Dormentes faltando**Definição:**

A ausência de um ou mais dormentes indica o nível de severidade. O número de dormentes faltando pode ser de no máximo 3 por grupo; quando exceder esse valor, devem ser considerados grupos distintos.

Classificação:

Severidade baixa:

- Um dormente faltando.

Severidade média:

- Dois dormentes faltando.

Severidade alta:

- Três dormentes faltando.

Medição:

A densidade deste defeito é dada por:

$$Densidade (severidade baixa) = \frac{N^{\circ} \text{ grupos}}{N^{\circ} \text{ de dormentes na amostra}}$$

$$Densidade (severidade média) = \frac{N^{\circ} \text{ grupos} \times 2}{N^{\circ} \text{ de dormentes na amostra}}$$

$$Densidade (severidade alta) = \frac{N^{\circ} \text{ grupos} \times 3}{N^{\circ} \text{ de dormentes na amostra}}$$

3.2.5.3 Dormentes mal posicionados

Definição:

São considerados dormentes mal posicionados quando estiverem inclinados, rotacionados ou agrupados.

Classificação:

Os três graus de severidade que este defeito pode apresentar variam de acordo com a rotação no eixo longitudinal, a inclinação ou o agrupamento.

Severidade baixa:

- Variações até 20 cm.

Severidade média:

- Variações maiores que 20 cm, mas que não estejam em junta de trilhos.

Severidade alta:

- Variações maiores que 20 cm e que estejam em junta de trilhos.

Medição:

A densidade deste defeito é calculada por:

$$Densidade = \frac{N^{\circ} \text{dormentes mau posicionados}}{N^{\circ} \text{de dormentes na amostra}}$$

Causa:

As causas deste defeito podem ser instalação imprópria, baixo suporte do lastro, movimentos dos trilhos, vibrações e deflexões causadas pelo tráfego.

3.2.5.4 Grupos de dormentes**Definição:**

São considerados nessa categoria se dois ou mais dormentes seguidos estiverem defeituosos. A severidade é computada de acordo com o número de dormentes até

no máximo 5. Caso haja mais que cinco dormentes defeituosos, devem-se considerar grupos distintos.

Classificação:

Severidade baixa:

- Dois dormentes consecutivos defeituosos.

Severidade média:

- Três dormentes consecutivos defeituosos.

Severidade alta:

- Quatro dormentes consecutivos defeituosos.

Severidade muito alta:

- Cinco dormentes consecutivos defeituosos.

Medição:

As medições devem ser feitas por grupo e a densidade é calculada por:

$$Densidade (severidade baixa) = \frac{N^{\circ} \text{ grupos} \times 2}{N^{\circ} \text{ de dormentes na amostra}}$$

$$Densidade (severidade média) = \frac{N^{\circ} \text{ grupos} \times 3}{N^{\circ} \text{ de dormentes na amostra}}$$

$$Densidade (severidade alta) = \frac{N^{\circ} \text{ grupos} \times 4}{N^{\circ} \text{ de dormentes na amostra}}$$

$$Densidade (severidade muito alta) = \frac{N^{\circ} \text{ grupos} \times 5}{N^{\circ} \text{ de dormentes na amostra}}$$

3.2.6 Defeitos no lastro

Os defeitos mais comuns no lastro são:

- Lastro contaminado;
- Crescimento de vegetação;
- Deformação permanente;
- Continuidade em cabeceiras de pontes;
- Bombeamento;
- Lastro insuficiente;
- Erosão.

O lastro é considerado contaminado se há presença de materiais finos preenchendo os vazios presentes na composição de agregados graúdos. Esse material fino pode ser proveniente do subleito, de resíduos de materiais transportados, carregados pelo vento ou água etc. O lastro também pode se desintegrar devido à abrasão mecânica ou química e o material fino acaba preenchendo os vazios. Outro problema relacionado ao lastro é o *pumping*.

3.3 EQUIPAMENTOS PARA MANUTENÇÃO

A conservação das vias férreas deve ser feita de forma adequada e o mais rápido possível, seja para manter as características geométricas ou estruturais. Para isso, lança-se mão de máquinas e equipamentos próprios que podem ser divididos em leves ou especiais. Os equipamentos considerados leves são aqueles portáteis; já os especiais, são aqueles de grande porte, normalmente autopropulsores e, muitas vezes, servo-controlados.

3.3.1 Equipamentos leves

Os equipamentos leves, embora recebam essa nomenclatura, são equipamentos geralmente robustos, precisos e de baixo custo operacional. Os mais comuns deste grupo são:

- i. Tirefonadora: equipamento usado para apertar e desapertar tirefonds. Possibilita a mudança rápida de um trilho para outro ao deslizar a cabeça giratória de um lado a outro por meio de guias;
- ii. Serra móvel para trilhos: permite ser fixada e faz o corte preciso de trilhos;
- iii. Máquina para perfurar trilhos: projetada para trabalhar horizontalmente, possui um sistema de avanço para garantir a posição exata dos furos;
- iv. Rebarbadora de solda: usada para retirar rebarbas do boleto quando os trilhos sofrem processo de solda, ela minimiza o trabalho posterior de esmerilhamento;
- v. Esmerilhadora portátil: para esmerilhamento de juntas e boletos de trilhos. Permite um ângulo de giro de até 90°;
- vi. Máquina para perfuração de dormentes: equipamento usado para a furação para colocação de tirefonds em dormentes;
- vii. Socadora vibratória manual: usados para socaria do lastro, sob o dormente, em pequena escala;
- viii. Régua de bitola: usada para diminuir ou aumentar a bitola. É fixada por meio de parafusos;

- ix. Tensionador de trilhos: usado para tracionar, comprimir e fixar os trilhos durante os trabalhos de soldagem;
- x. Máquina para deslocamento de trilhos: usada para o posicionamento contínuo de trilhos de acordo com a bitola e o alinhamento desejados;
- xi. Máquina para parafusar talas: equipamento usado para colocar os parafusos nas talas. Tem mandril ajustável que permite maior rapidez;
- xii. Máquina de clipagem: usada para inserir e extrair estribos de clips de fixação.

3.3.2 Equipamentos especiais

As máquinas especiais são equipamentos capazes de realizarem manutenções rapidamente, com segurança e em grande escala na via férrea. O avanço da tecnologia permite máquinas cada vez mais precisas e rápidas, muitas vezes servo-controladas.

Neste grupo, as máquinas mais comuns são:

- i. Socadora: são máquinas que fazem a socaria do lastro, normalmente por pressão e por vibração. As socadoras atuais são capazes de executarem o serviço tanto na via corrida quanto nos aparelhos de mudança de via. A socadora, ao erguer os trilhos e dormentes é, também, capaz de realizar o alinhamento e o nivelamento dos mesmos, enquanto realiza o serviço de socaria;

- ii. Desguarnecedora: realiza a limpeza do lastro. Esta máquina retira o lastro desgastado ou quebrado, realiza o peneiramento e devolve o material granulometricamente adequado ao local, completando com o material necessário ao nivelamento;
- iii. Esmerilhadora: a função deste equipamento é regularizar a superfície do trilho, desgastando o boleto e, assim, uniformizando as tensões internas nos trilhos e permitindo maior conforto ao rolamento;
- iv. Reguladora: serve para ajustar a quantidade de lastro, retirando o excesso ou completando o material faltando. Normalmente é usada após o processo de socaria;
- v. Reperfiladora: equipamento usado para redesenhar o boleto por meio de desgaste do trilho.

*Nas grandes batalhas da vida,
O primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer.*

(Mahatma Gandhi)

SISTEMAS DE GERÊNCIA

4

Segundo Haas, Hudson e Zaniewski (1994), um sistema de gerência de pavimentos (SGP) consiste em um conjunto amplo coordenado de atividades associadas com planejamento, projeto, construção, manutenção, avaliação e pesquisa, com o propósito de fornecer e manter pavimentos em um nível adequado de serviço.

A função de um sistema de gerência de pavimentos é propiciar pavimentos seguros, confortáveis e econômicos. Para atingir esses objetivos, um sistema de gerência de pavimentos deve ser capaz de comparar, priorizar e alocar os recursos destinados à manutenção e reabilitação da malha viária da forma mais adequada. Além disso, deve considerar estratégias alternativas, tomar decisões com base em critérios e restrições orçamentárias, permitir ser realimentável com informações novas e considerar as consequências das decisões tomadas (PETERSON, 1987).

4.1 AVALIAÇÕES DE PAVIMENTOS

A qualidade de um sistema de gerência de pavimentos está diretamente ligada à quantidade e qualidade de dados coletados da via, obtidos através de avaliação, que pode ser executada de forma subjetiva ou objetiva.

A avaliação de caráter subjetivo está diretamente ligada ao conceito de serventia, introduzido por Carey e Irick ao realizarem o AASHO Road Test. A serventia consiste na habilidade de uma determinada seção de pavimento, à época da observação, de servir ao tráfego com elevados volumes e altas velocidades. A avaliação da serventia ao longo do tempo fornece o desempenho do pavimento (FERNANDES JR, ODA e ZERBINI, 2006).

A avaliação subjetiva é realizada por um grupo de avaliadores experientes que atribuem notas para cada seção do pavimento, fornecendo o valor de serventia atual (VSA). Posteriormente, essas notas são relacionadas com valores obtidos por meio de medidas físicas de defeitos e, lançando-se mão de estatística, obtém-se o índice de serventia atual (ISA) do pavimento.

A avaliação objetiva foca no levantamento de defeitos de seções do pavimento com o uso de equipamentos de medição. Faz parte da avaliação objetiva o reconhecimento do tipo de defeito, sua frequência e severidade, bem como a possível causa do defeito.

4.2 NÍVEIS ADMINISTRATIVOS

A gerência de pavimentos pode ser subdividida em dois grupos, dependendo do objetivo do estudo e o tipo de resposta desejado, podendo ser em nível de rede ou nível de projeto.

4.2.1 Gerência em nível de rede

Segundo Fernandes Jr., Oda e Zerbini (2006), a gerência em nível de rede trabalha com informações relacionadas a toda malha viária e tem a função de tomar decisões de caráter administrativo, como planejamento, programação e orçamento. As principais características da gerência em nível de rede estão relacionadas com a identificação e priorização de projetos, geração de necessidades de orçamentos e análise de estratégias de intervenção.

As intervenções podem ser de caráter corretivo, preventivo, de ação postergada reforço ou reconstrução.

4.2.2 Gerência em nível de projeto

A gerência em nível de projeto passa o “pente fino” na malha viária ao trabalhar com informações detalhadas das seções. Essas informações compreendem diagnósticos detalhados dos defeitos, o que pode tê-los gerado e os métodos corretivos aplicáveis.

É função da gerência em nível de projeto selecionar as atividades de manutenção, reabilitação e reconstrução, fornecer dados com relação ao desempenho do pavimento e definir parâmetros para projetos estruturais, como resistência do subleito, número de solicitações do eixo padrão e especificação para os materiais.

4.3 IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE GERÊNCIA

A implementação de um sistema de gerência está relacionada à realidade, necessidade e possibilidade dos órgãos responsáveis pela manutenção dos pavimentos e, com isso, cada órgão viário pode ter o seu próprio sistema de

gerência. Entretanto, há uma estrutura organizacional mínima necessária para que cada um destes sistemas possa funcionar de forma adequada, que é, de acordo com Hass, Hudson e Zaniewski (1994), a seguinte:

- i. Inventário: descrição e identificação das seções; classificação funcional e administrativa características estruturais do pavimento; dados históricos (custos, tráfego, geometria...);
- ii. Avaliação da condição atual: obtida por meio da ponderação dos defeitos encontrados na superfície do pavimento (irregularidade longitudinal, condição estrutural, condição de atrito...);
- iii. Estratégias: baseadas na avaliação da condição de cada trecho do pavimento e nas causas de sua deterioração são estabelecidas estratégias de intervenção para que a condição do pavimento se mantenha acima do mínimo aceitável. Essas estratégias podem ser divididas em manutenção preventiva, manutenção corretiva, reabilitação e reconstrução. A tomada de decisão é baseada na análise dos defeitos ao longo do tempo, permitindo a análise dos custos e benefícios presentes e futuros;
- iv. Necessidades: definida com base nos custos médios das ações de intervenção previstas e o volume de serviços fornecidos pelo inventário;
- v. Prioridades: definidas quando os recursos não são suficientes para atender todas as necessidades;
- vi. Programas: abrangem as intervenções feitas para atender as necessidades presentes e futuras;
- vii. Orçamento: previsto a partir da estimativa de custos e seleção das estratégias.

4.4 ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO

Para que um sistema de gerência de pavimentos seja eficiente, também devem ser eficientes as atividades por ele indicadas para conservação da qualidade da via, isso se reflete não somente por meio das intervenções, mas também que estas sejam feitas ao menor custo possível.

As intervenções passíveis de serem executadas são comumente divididas em *manutenção* (que pode ser de rotina, preventiva ou corretiva), *reabilitação* ou *reconstrução*. Todas elas visam reestabelecer as condições mínimas, adequadas ou iniciais da geometria e/ou da estrutura do pavimento.

A decisão de qual tipo de intervenção é a mais adequada em cada caso pode ser tomada com base em índices que representem a condição ou qualidade do pavimento ou mesmo a evolução de determinado defeito. Por isso, a concepção de índices de qualidade pode ser um fator chave em um sistema de gerência de pavimentos.

As estratégias de intervenções podem ser associadas ao que deve ser feito para adequação da qualidade da via férrea em cada caso.

i. Manutenção preventiva:

- Esmerilhamento do boleto;
- Substituição do trilho quanto a defeito de fabricação;
- Limpeza do lastro;
- Substituição de uma tala trincada, quebrada ou imprópria;
- Reposição ou aperto de um parafuso;
- Substituição de acessórios de fixação impróprios;
- Substituição de um dormente defeituoso que não se encontra na junta;
- Reposição de um dormente faltando;
- Reenquadramento de um dormente que não esteja na junta;
- Substituição de dois dormentes consecutivos defeituosos;
- Limpeza do lastro.

ii. Manutenção corretiva:

- Substituição do trilho;
- Reperfilamento do trilho;
- Substituição do lastro;
- Reaperto de todos os parafusos;
- Reposição dos parafusos faltantes;
- Substituição de uma tala corroída, quebrada ou trincada no centro;
- Reaproximação de trilhos;
- Substituição de acessórios de fixação quebrados;
- Substituição de um dormente defeituoso que se encontra na junta;
- Reposição de dois dormentes faltando;
- Reenquadramento de um ou mais dormentes que não estejam na junta;
- Substituição de três dormentes consecutivos defeituosos;
- Limpar, socar e regularizar o lastro;
- Refazer a geometria.

iii. Reabilitação:

- Substituição do trilho;
- Refazer a solda;
- Substituição das duas talas de junção;
- Reposição de três dormentes faltando;
- Reenquadramento de um ou mais dormentes na junta;
- Substituição de quatro dormentes consecutivos defeituosos;
- Limpar, socar, desguarnecer e regularizar o lastro;
- Refazer a geometria.

iv. Reconstrução:

- Substituição do trilho e verificação de perfis maiores;
- Substituição de todos os parafusos;
- Substituição das duas talas de junção;
- Reaproximação de trilhos;
- Substituição dos acessórios de fixação e verificação de mudança no tipo;

- Substituir cinco ou mais dormentes consecutivos;
- Substituir o lastro;
- Refazer a geometria e verificar possíveis mudanças no traçado.

Pantigoso (1998) propõe árvores de decisão para seleção de atividades de manutenção e reabilitação em pavimentos asfálticos em função da severidade e do tráfego, que pode ser, dependendo do tipo de defeito, como: “não fazer nada”, “capa selante”, “lama asfáltica”, “tratamento superficial”, “selagem de trincas”, “preenchimento de buracos”, “remendo”, “regularização”, “drenagem”, “reciclagem”, “recapeamento”, “reconstrução”, “recomposição do acostamento” ou “aplicação de areia quente”. A Figura 4.1 mostra como exemplo a árvore de decisão para trincas por fadiga.

Figura 4.1. Árvore de decisão para o defeito trincas por fadiga (PANTIGOSO, 1998).

O mesmo conceito pode ser usado nas estratégias de M&R de vias férreas. Dividindo-se os defeitos de acordo com o grupo que pertencem, podem-se determinar árvores de decisão em função de índices que representem a qualidade da via.

4.5 MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DO PAVIMENTO

Existem diversos métodos de se avaliar a condição superficial do pavimento. Boa parte desses métodos leva em consideração três pontos em comum:

- i. Tipo de defeito: há vários tipos de defeitos associados aos pavimentos e a correta determinação de cada um, ou a causa de sua ocorrência, é ponto fundamental em um sistema de gerência, pois implica em determinado procedimento das intervenções de M&R;
- ii. Severidade: reflete qual o estado de degradação em que se encontra o pavimento. A variação da severidade ao longo do tempo pode indicar a evolução de um dado defeito;
- iii. Extensão: a extensão mostra o comprimento ou a área que o defeito ocupa. Um defeito com ampla extensão, mesmo que com baixa severidade, pode comprometer o pavimento, tanto estruturalmente, quanto funcionalmente. Alguns métodos de avaliação consideram, ao invés da extensão, a densidade de um defeito, que é a quantidade que esse defeito aparece por unidade de comprimento, área ou elemento da superestrutura.

Outra consideração que os métodos de avaliação apresentam é a divisão dos defeitos em classes ou grupos, de acordo com sua origem ou elemento da superestrutura que afetam.

Ainda que não seja prática costumeira em todos os órgãos responsáveis, alguns métodos de gerência de pavimentos rodoviários e urbanos podem ser citados como mais adotados no Brasil:

a) Procedimento DNIT-PRO 006/2003

Trata do procedimento de avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos. A condição do pavimento é dada em função da contagem e classificação dos defeitos aparentes, porém não considera a extensão dos defeitos.

Os defeitos são agrupados em classes, que recebem fatores de ponderação diferentes. Também são considerados fatores de ponderação em função da média e da variância das medidas das flechas geradas nas trilhas de roda interna e externa. Com isso é possível determinar o *Índice de Gravidade Individual* (IGI) em função da frequência relativa e do fator de ponderação, bem como o *Índice de Gravidade Global* (IGG), expressos nas Equações 4.1 e 4.2, respectivamente.

$$IGI = f_r \times f_p \quad 4.1$$

Em que:

f_r = frequência relativa de cada defeito;

f_p = fator de ponderação.

$$IGG = \sum IGI \quad 4.2$$

A classificação do pavimento em função do IGG é apresentada na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Condição do pavimento em função do IGG.

IGG	Condição do Pavimento
0 – 20	Boa
21 – 80	Regular
81 – 150	Ruim
150 – 500	Péssima

Fonte: DNIT-PRO 006/2003.

b) Procedimento DNIT-PRO 007/2003

Este procedimento relata como deve ser executado o levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrechos homogêneos de rodovias de pavimentos flexíveis e semirrígidos para a gerência de pavimentos, estudos e projetos.

As seções de análise são definidas por amostragem e o levantamento é feito por caminhamento em subtrechos de 100 metros cada, em segmentos homogêneos de 300 metros a 20 quilômetros. Os defeitos são anotados de forma a se conhecer o tipo, a severidade e a extensão em duas seções, de 6 metros cada, por subtrecho.

c) Procedimento DNIT-PRO 008/2003

O procedimento visa normatizar a avaliação de pavimentos flexíveis e semirrígidos pelo método do *Levantamento Visual Contínuo* (LVC).

O levantamento de defeitos é feito de dentro de um veículo que deve andar na velocidade média de 40 km/h para todo o trecho a ser analisado. Os defeitos são anotados manualmente, assim como a extensão, para subtrechos que devem ter no mínimo 1 quilômetro e no máximo 6 quilômetros. Em casos especiais, como finais de trechos, o subtrecho pode ter menos de 1 quilômetro.

À cada subtrecho, o avaliador deve atribuir uma nota que recebe o nome de *Índice de Condição do Pavimento Flexível ou Semi-Rígido* (ICPF), variando de 0 a 5, e que visa representar a necessidade de M&R, em que 1 representa o pavimento em péssimas condições e 5 o pavimento em ótimas condições.

O *Índice de Gravidade Global Expedito* (IGGE) é determinado pela relação entre as frequências dos defeitos e os respectivos pesos (Equação 4.3).

$$IGGE = (P_t \times F_t) + (P_{oap} \times F_{oap}) + (P_{pr} \times F_{pr}) \quad 4.3$$

Em que:

F_t ; P_t = frequência e peso do conjunto de trincas t;

F_{oap} ; P_{oap} = frequência e peso do conjunto de deformações;

F_{pr} ; P_{pr} = frequência e peso do conjunto de painéis e remendos.

O *Índice do Estado de Superfície do Pavimento* (IES), com nota variando de 0 a 10, é determinado em função da análise conjunta do ICPF e do IGGE (Tabela 4.2).

Tabela 4.2: Condição do pavimento em função do IES.

Descrição	IES	Código	Conceito
$IGGE \leq 20$ e $ICPF > 3,5$	0	A	Ótimo
$IGGE \leq 20$ e $ICPF \leq 3,5$	1	B	Bom
$20 \leq IGGE \leq 40$ e $ICPF > 3,5$	2		
$20 \leq IGGE \leq 40$ e $ICPF \leq 3,5$	3	C	Regular
$40 \leq IGGE \leq 60$ e $ICPF > 2,5$	4		
$40 \leq IGGE \leq 60$ e $ICPF \leq 2,5$	5	D	Ruim
$60 \leq IGGE \leq 90$ e $ICPF > 2,5$	7		
$60 \leq IGGE \leq 90$ e $ICPF \leq 2,5$	8	E	Péssimo
$IGGE > 90$	10		

Fonte: DNIT-PRO 008/2003.

d) Manual do SHRP

O manual foi desenvolvido pelo Programa Estratégico de Pesquisas Rodoviárias (*Strategic Highway Research Program – SHRP*) para as pesquisas sobre o Desempenho de Pavimentos em Longo Prazo (*Long-Term Pavement Performance – LTPP*) e contou com a participação de mais de 20 países, inclusive o Brasil. As pesquisas começaram no ano de 1987 com o intuito de continuarem por um período de 20 anos.

O manual descreve cada tipo de defeito que o pavimento está sujeito, bem como respectivas severidade e extensão, com o intuito de padronizar o levantamento de defeitos que servir como base para métodos de avaliação da condição superficial do pavimento.

e) Índice de Condição do Pavimento (ICP)

O método do *Índice de Condição do Pavimento – ICP* (ou no inglês, *Pavement Condition Index – PCI*), foi desenvolvido pelo Laboratório do Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACERL), inicialmente para aeroportos, porém posteriormente aplicado também às ruas e rodovias.

Neste método, a superfície do pavimento é avaliada por meio de amostragem determinada estatisticamente (embora também permita uma análise contínua), em que são definidas as seções de análise. Nessas seções são identificados os tipos de defeitos, bem como suas severidades e extensões. O ICP é expresso pela Equação 4.4.

$$ICP = 100 - \sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^m a(T_i; S_j; D_{ij}) \cdot F(t; q) \quad 4.4$$

Nesta equação, “ICP” é o índice de condição do pavimento, “a()” é o valor de ponderação dado em função de cada tipo de defeito, “T” os tipos de defeitos, “S” a severidade, “D” as densidades, “i” a quantidade de defeitos, “j” os níveis de severidade, “p” o número total de defeitos, “m” o número total de níveis de severidade e “F()” o fator de ponderação dado pelas curvas de ponderação.

Os *Valores de Ponderação* da Equação 3.4 variam de 0 a 100, em que 0 indica que o defeito não tem influência sobre a condição do pavimento e 100 indica que o defeito tem máxima importância na condição do pavimento. Para definir os valores de ponderação foram determinadas *Curvas de Ponderação* para cada tipo e severidade de defeitos possíveis de ocorrerem.

As curvas de ponderação foram construídas com base na avaliação de profissionais, com vasta experiência, que deram notas para cada tipo de defeito e respectivas severidade/extensão. Essa relação recebeu o nome de *Avaliação da Condição do Pavimento – ACP* (ou *Pavement Condition Rating – PCR*).

O método considera a interação de diversos tipos de defeitos, severidades e densidades dentro de um mesmo elemento da estrutura do pavimento e, para isso, os valores individuais dos defeitos são correlacionados com a soma dos valores de todos os defeitos individuais e, então, corrigidos por meio de *Curvas de Correção*.

Os resultados do ICP são relacionados à qualidade da via e permitem a comparação entre diversos pavimentos ou trechos diferentes de um pavimento (Tabela 4.3).

De acordo com Aps (2000), para vias urbanas, o método do PCI é o que apresenta melhores resultados e se mostrou mais consistente com relação à avaliação de defeitos e condições de conforto dos veículos ao rolamento.

Tabela 4.3: Condição do pavimento em função do ICP.

ICP	Condição do Pavimento
86 – 100	Excelente
71 – 85	Muito Boa
56 – 70	Boa
41 – 55	Regular
26 – 40	Ruim
11 – 25	Muito Ruim
0 – 10	Péssima

Fonte: Adaptado de SHAHIN e KHON (1979).

Nas metodologias de gerência para pavimentos rodoviários já há consolidação de alguns conceitos ou preceitos que podem, em muitos dos casos, serem transplantados para a concepção de sistemas de gerência aplicados às vias férreas.

4.6 SISTEMAS DE GERÊNCIA DE VIAS FÉRREAS

A aplicação de sistemas de gerência nas ferrovias se encontra em uma realidade muito mais distante do que a encontrada nos pavimentos rodoviários. Entretanto, alguns pesquisadores têm direcionado seus esforços à formulação de métodos que permitam a avaliação e classificação das vias férreas de modo a permitir que as intervenções de M&R possam ser programadas e executadas no melhor momento, gerando maior economia, conforto e segurança.

Bhaskar, Ranjendran e Sood (2010) implantaram em Nova Delhi, na Índia, um sistema de gerência com enfoque no controle geométrico de ferrovias. A coleta de dados foi feita com carro controle e foram medidos os inícios e finais de curvas, superelevação, rampas e pontes. Como complemento, analisaram, também, a qualidade das juntas e das soldas nos trilhos.

A *Canadian National Railway* (CN, 2012) usa o conceito de seção homogênea advindo das rodovias para fazer análise em suas ferrovias. Os parâmetros estruturais controlados estão relacionados aos trilhos, dormentes e irregularidade e são confrontados com os dados geométricos obtidos via carro controle.

Nos Estados Unidos foi desenvolvido o *Railroad Maintenance System* (RAILER), como parte de um trabalho executado pelo Corpo de Engenheiros dos Estados Unidos (*U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory* – USACERL), que é uma ferramenta de suporte à decisão que pode ser usado para avaliar os níveis de condição de ferrovias, determinar as manutenções e reabilitações necessárias e seus respectivos custos, estabelecer orçamentos e desenvolver planos de trabalhos anuais e no longo prazo. O programa permite a análise e classificação dos defeitos, assim como suas severidades e extensões com modelagem feita com base em curvas de ponderação e correção, como na determinação do ICP.

No Brasil prevalece o ciclo “quebra-repara” como quase única forma de intervenção para manutenção e reabilitação da superestrutura ferroviária. Isso muitas vezes faz com que o tráfego de trens seja interrompido ou que a velocidade máxima permitida nas vias seja reduzida, gerando grandes perdas em termos financeiros e de tempo.

Os sistemas de gerência concebidos às ferrovias têm, em comum, a análise da evolução da degradação da via férrea tanto por meio da condição geométrica, quanto pela estrutural, embora os defeitos possam estar associados à geometria e à estrutura de forma conjunta. Essa separação no estudo dos defeitos permite com que sejam criados modelos diferentes para análise da geometria e da estrutura e, por fim, facilitar a identificação de qual tipo de intervenção para a recuperação da qualidade da via é o mais adequado.

4.6.1 Análise geométrica

4.6.1.1 Conceito

Para que se consiga manutenção adequada da via férrea, são necessárias inspeções constantes e regulares, as quais podem ser divididas basicamente em inspeções da geometria da via e inspeções estruturais da via. A primeira é realizada por meio de carros-controle que portam instrumentos eletrônicos capazes de medir e gravar alterações geométricas da via, sejam elas horizontal, vertical ou transversal; a segunda é conseguida por meio de inspeções visual por ou automatizada e, embora as inspeções estruturais automatizadas forneçam dados mais rapidamente, as inspeções visuais ainda são muito usadas e trazem ótimos resultados.

A geometria da via representa espacialmente onde se encontram os trilhos da via férrea e pode ser dividida de acordo com o plano de trabalho dos parâmetros envolvidos. De acordo com Sadeghi e Akbari (2006), os principais parâmetros que definem a geometria da via são a bitola (plano da via), o perfil (plano longitudinal), o alinhamento (plano horizontal), o nível cruzado e a torção (plano transversal). Entende-se por nível cruzado a diferença de nível existente entre as superfícies dos dois trilhos paralelos, ou seja, a superelevação encontrada nas curvas, com o intuito de compensar a ação da força centrífuga; não é considerado um defeito a menos que esteja fora dos limites impostos no projeto.

Com o intuito de se qualificar a condição da via espacialmente e quantificar os defeitos geométricos, se faz necessário a concepção de um índice que a represente numericamente, objeto deste capítulo.

4.6.1.2 Classificações das ferrovias

Os índices de geometria muitas vezes estão associados com as classes das ferrovias. Uma ferrovia com caráter técnico mais elevado, na qual percorram trens com maiores velocidades e tonelagens-brutas, requer padrão mais rigoroso no controle da qualidade. Por outro lado, ferrovias usadas para transportar baixas

tonelagens anuais ou que conduzam trens mais lentos, permitem maiores folgas no seu controle geométrico.

As classes das vias férreas podem ser definidas em função da densidade do tráfego (em milhões de toneladas-brutas anuais – MTBA) e da velocidade de operação dos trens, de acordo com os valores sugeridos pela *American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association* (AREMA, 2006), apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Definição da classe da ferrovia.

Densidade do Tráfego (MTBA)	Velocidade (km/h)			
	> 160	120 – 160	80 – 120	< 80
> 15	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁
10 – 15	A ₂	B ₂	C ₂	D ₂
5 – 10	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃
< 5	A ₄	B ₄	C ₄	D ₄

Fonte: Adaptado de AREMA (2006).

A *Federal Railroad Administration* (FRA, 2008) considera as diferentes classes das ferrovias somente de acordo com a velocidade máxima dos trens que nelas trafegam (Tabela 4.5).

Tabela 4.5: Classificação das ferrovias.

Classe da Via	Velocidade Máxima dos Trens de Carga (km/h)
1	16
2	40
3	64
4	97
5	129

Fonte: Adaptado de FRA (2008).

A escolha da classe da ferrovia é ponto essencial para o início da formulação de índices de geometria, pois cada classe permite limites dispares para cada tipo de defeito geométrico encontrado na via.

4.6.1.3 Índices e limites geométricos no mundo

A importância de um índice que represente a geometria é de consenso mundial, porém não há consenso em que índice adotar, uma vez que diversos índices foram desenvolvidos em diferentes países. Segundo Ebersöhn e Conrad (2003), a *Amtrak* (empresa ferroviária estatal americana) desenvolveu, nos Estados Unidos, um índice que representa as irregularidades encontradas ao longo da ferrovia, calculado pela divisão da somatória dos quadrados dos desvios pelo número de pontos medidos (Equação 4.5).

$$R^2 = \sum_{i=1}^n \frac{d_i^2}{n} \quad 4.5$$

Nesta equação considera-se “n” como sendo o número de medidas e “d_i” a quantidade de desvios na geometria medidos, considerando uma corda de 20 metros. Este índice é usado para estimar a qualidade do perfil, do alinhamento, do nível cruzado e da bitola.

Quanto menor for o valor de R², melhor será a condição geométrica da via. A Amtrak considera a qualidade da via de acordo com a Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Condição da via baseada no índice de irregularidade da Amtrak.

Condição da Via	Valor de R ²
Muito boa	< 1
Boa	1 a 4
Aceitável	4,1 a 16
Ruim	> 16

Fonte: Adaptado de Ebersöhn e Conrad (2003).

Ainda nos Estados Unidos, porém diferentemente da Amtrak, a *Federal Railroad Administration* (FRA) desenvolveu um índice de geometria focado no perfil vertical usando análises fractais, em um estudo realizado em aproximadamente 1 quilômetro de via. Nesse estudo, analisou-se a irregularidade de duas maneiras, a primeira associada à forma da via e a segunda à textura dos trilhos. As conclusões da pesquisa foram que os parâmetros calculados por meio de análises fractais caracterizaram adequadamente as condições de irregularidade da via (HYSLIP, TROSINO e SELIG, 2002). Segundo conclusões dos autores, a análise fractal é um bom indicador de irregularidade e é capaz de fornecer valores numéricos, em diferentes escalas, para caracterização geométrica da via. Outro ponto importante é que o método é capaz de comparar trechos com comprimentos diferentes, uma vez que seus indicadores numéricos são independentes de comprimentos. O método ainda possibilita estimar a contaminação do lastro e problemas com drenagem, embora os autores da pesquisa deixem claro que verificações de campo são essenciais para confirmar ou negar essas respostas nos locais onde o modelo identificou como problemáticos, ou seja, para qualidade do lastro e da drenagem, o método é apenas indicativo.

A FRA também desenvolveu índices de qualidade da via (TQI – *Track Quality Index*) como complemento às normas de qualidade de via, com base na estimativa da soma das distâncias entre dois pontos consecutivos em segmentos de 85 metros, que representam perfil, alinhamento, nível cruzado e bitola, expressos na Equação 4.6 (ZHANG, EL-SIBAE e LEE, 2004).

$$TQI = \left[\frac{L_s}{L_0} - 1 \right] \cdot 10^6 \quad 4.6$$

Sendo “ L_s ” o comprimento percorrido e “ L_0 ” o comprimento que o segmento deveria ter.

De acordo com a FRA, o método é adequado para representar quantitativamente a qualidade da via. As tolerâncias impostas pelo método são apresentadas na Tabela 4.7.

A *Federal Railway Administration* apresenta, ainda, valores de tolerância para a variação do alinhamento, considerando uma corda de 18,9 metros (Tabela 4.8).

Tabela 4.7: Tolerâncias definidas pelo método da FRA.

Parâmetro	Limites
Bitola	-8 mm a 10 mm
Nível Cruzado	-18 mm a 18 mm
Torção	-3% a 3%
Irregularidade Horizontal	-15 mm a 15 mm
Irregularidade Vertical	-16 mm a 16 mm

Fonte: Adaptado de Zhang, El-Sibae e Lee (2004).

Tabela 4.8: Valores aceitáveis para diferenças de alinhamento pela FRA.

Classe da Via	Variação do Alinhamento (mm)
1	127
2	76
3	44
4	38
5	16

Fonte: Adaptado de Zhang, El-Sibae e Lee (2004).

O Manual de Engenharia Ferroviária Americano (AREMA, 2012) especifica valores de tolerância para diversos parâmetros geométricos de vias férreas. As Tabelas 4.9 a 4.13 apresentam os valores para bitola (variações negativas e positivas), alinhamento, perfil e torção, de acordo com a classe da via. Vale ressaltar que na Tabela 4.9 a única variação aceitável é na classe D1, o que indica a importância no controle desse parâmetro, independentemente da classe da via.

Tabela 4.9: Tolerância em milímetros para desvios negativos de bitola.

Classe da Via	A	B	C	D
1	-1	-1	-1	-2
2	-2	-2	-2	-2
3	-4	-4	-4	-4
4	-6	-6	-6	-6

Fonte: Adaptado de AREMA (2012).

Tabela 4.10: Tolerância em milímetros para desvios positivos de bitola.

Classe da Via	A	B	C	D
1	+3	+4	+5	+12
2	+6	+8	+10	+12
3	+24	+24	+24	+24
4	+35	+35	+35	+35

Fonte: Adaptado de AREMA (2012).

Tabela 4.11: Tolerância em milímetros para o alinhamento.

Classe da Via	A	B	C	D
1	± 2	± 4	± 6	± 11
2	± 5	± 8	± 12	± 21
3	± 9	± 15	± 24	± 41
4	± 17	± 29	± 45	± 50

Fonte: Adaptado de AREMA (2012).

Tabela 4.12: Tolerância em milímetros para o perfil.

Classe da Via	A	B	C	D
1	± 6	± 8	± 12	± 16
2	± 12	± 16	± 16	± 18
3	± 20	± 20	± 20	± 20
4	± 20	± 20	± 20	± 20

Fonte: Adaptado de AREMA (2012).

Tabela 4.13: Tolerância em milímetros para torção.

Classe da Via	A	B	C	D
1	±2	±3	±4	±8
2	±5	±7	±9	±15
3	±8	±13	±18	±24
4	±15	±25	±28	±33

Fonte: Adaptado de AREMA (2012).

Madejski e Grabozky (2000) descrevem que, na Áustria, a *Austrian Federal Railway* usa cinco diferentes parâmetros para analisar os defeitos na via, calculados a partir de dados obtidos via carro controle. A deformidade medida para cada parâmetro, nos trechos analisados, é a relação da soma do comprimento das subseções que excederam o desvio aceitável com relação ao comprimento total da seção, de acordo com a Equação 4.7.

$$w = \frac{\sum L_i}{L} \quad 4.7$$

Em que “ L_i ” é o comprimento das subseções que excederam os valores aceitáveis de desvio e “ L ” é o comprimento total da seção de via.

Este modelo considera que um defeito não tem influência sobre outro, dessa forma a quantidade de defeitos pode ser expressa pela Equação 4.8.

$$w_5 = 1 - (1 - w_e) \cdot (1 - w_g) \cdot (1 - w_w) \cdot (1 - w_y) \cdot (1 - w_z) \quad 4.8$$

Em que “ w_z ” e “ w_y ” são as médias aritméticas para as irregularidades vertical e horizontal, respectivamente, “ w_g ” é a deformidade de nível cruzado, “ w_w ” é a deformidade por torção, e “ w_e ” é a deformidade de bitola.

O método considera uma corda de 18,90 metros e a condição da via é escolhida conforme apresentado na Tabela 4.14.

Tabela 4.14: Condição da via baseada nos valores de w_5

Condição da via	Valor de w_5
Nova	< 0,1
Boa	0,1 a 0,2
Regular	0,2 a 0,66
Ruim	> 0,6

Fonte: Adaptado de Madejski e Grabozyk (2000).

Madejski e Grabozyk (2000) concluíram que é necessário definir quais parâmetros (vertical, horizontal, torção, bitola e nível cruzado) influenciam na qualidade da viagem e que o conhecimento de cada um desses parâmetros é necessário para a análise da qualidade da via.

Na Austrália, a *Rail Industry Safety and Standard Board* (RISSB, 2001) recomenda limites geométricos para a bitola e para o alinhamento, considerando corda de 20 metros, conforme apresentado na Tabela 4.15.

Tabela 4.15: Tolerância em milímetros recomendada pela RISSB.

Parâmetro	Tangente	Raios > 300 m	Raios < 300m
Bitola	±20	±20	±25
Alinhamento	±50	±50	±75

Fonte: Adaptado de RISSB (2001).

Observa-se que curvas que tenham raio maior que 300 metros têm limites idênticos às tangentes.

A *Indian Railway* desenvolveu um Índice Global da Via (*TGI – Track Global Index*) que leva em conta diferentes parâmetros e avalia a condição da via entre os extremos “trecho novo” e “via necessitando urgentemente de manutenção” (MUNDREY, 2003). O índice para cada parâmetro individual é dado pela Equação 4.9.

$$UI, TI, AI, GI = 100 \cdot e^{-(SD_m - SD_n)/(SD_u - SD_n)} \quad 4.9$$

Sendo que UI representa a irregularidade, TI a torção, AI o alinhamento e GI a bitola; “SD_m” é o desvio-padrão do parâmetro medido, “SD_n” é o desvio-padrão para um trecho novo e “SD_u” é o desvio-padrão para um trecho necessitando urgentemente de manutenção. A Tabela 4.16 mostra os valores tabulados.

Tabela 4.16: Valores de SD.

Parâmetro	Corda (m)	SD, trecho novo (mm)	SD, manutenção urgente (mm)	
			Velocidade > 105 km/h	Velocidade < 105 km/h
Irregularidade	9,6	2,5	6,2	7,2
Torção	3,6	1,8	3,8	4,2
Bitola	–	1,0	3,6	3,6
Alinhamento	7,2	1,5	3,0	3,0

Fonte: Adaptado de Mundrey (2003).

Os parâmetros geométricos recebem pesos diferentes de acordo com a importância dada pelo método, sendo o índice geral (TGI) calculado com o uso da Equação 4.10.

$$TGI = \frac{2 \cdot UI + TI + 6 \cdot AI + GI}{10} \quad 4.10$$

A classificação da qualidade da via em função do TGI é apresentada na Tabela 4.17.

Tabela 4.17: Condição da via baseada nos valores de TGI.

Condição da via	TGI
Ótima	< 36
Boa	36 a 50
Regular	50 a 80
Ruim	> 80

Fonte: Adaptado de Mundrey (2003).

Na Suécia, a rede ferroviária nacional usa o índice Q (Equação 4.11), baseado em análises estatísticas, para avaliar a condição da via (ANDERSSON, 2002).

$$Q = 150 - 100 \cdot \left(\frac{\sigma_H}{\sigma_{Hlim}} + 2 \cdot \frac{\sigma_S}{\sigma_{Slim}} \right) / 3 \quad 4.11$$

Sendo “ σ_H ” a média dos desvios-padrão dos perfis esquerdo e direito; “ σ_S ” a média dos desvios-padrão de nível cruzado, bitola e desvio horizontal; “ σ_{Hlim} ” o valor permitido de “ σ_H ” baseado na categoria da via; “ σ_{Slim} ” o valor permitido de “ σ_S ” baseado na categoria da via. O resultado é expresso por quilômetro de via.

Na Polônia usa-se o índice J (Equação 4.12) para a determinação das condições geométricas da via (MADEJSKI e GRABOZYK, 2000).

$$J = \frac{S_z + S_y + S_w + 0,5 \cdot S_e}{3,5} \quad 4.12$$

Sendo “ S_e ” o desvio-padrão de irregularidades verticais; “ S_y ” o desvio-padrão de irregularidades horizontais; “ S_w ” o desvio-padrão de torção; “ S_z ” o desvio-padrão de bitola. O método leva em conta uma corda de 10 metros. Os valores permitidos de J são apresentados na Tabela 4.18.

Tabela 4.18: Valores permitidos de velocidade em função do índice J.

Velocidade (km/h)	J
30	12,0
40	11,0
90	6,2
120	4,0
160	2,0
200	1,4

Fonte: Adaptado de Madejski e Grabozyk (2000).

Outros países da Europa e da Ásia também usam uma abordagem de análise através do desvio-padrão de parâmetros como bitola, perfil, alinhamento e nível cruzado, baseados em recomendações do *European Railway Research Center*, que definem trechos de 1000 metros e segmentos de 18,9 metros (ORE, 1981).

A Companhia Vale do Rio Doce, em seu Manual Técnico da Via Permanente (CVRD, 2009), recomenda limites para a variação máxima de bitola de 2 mm entre dormentes consecutivos, para velocidades acima de 60 km/h, e 3 mm para velocidades abaixo de 60 km/h.

Com relação ao empeno, ou seja, a avaliação da torção com uma corda de 20 metros, a CVRD recomenda os valores apresentados na Tabela 4.19. Já para nivelamento e alinhamento, a CVRD segue as recomendações limites da *Association of American Railroads*, apresentados na Tabela 4.20.

Tabela 4.19: Valores máximos para empeno.

Velocidade (km/h)	Curva (mm)	Tangente (mm)
15	15	34
20	11	26
25	9	21
30	7	17
35	6	15
40	5	13
45	5	11
50	4	10
55	4	9
60	4	9
65	3	8
70	3	7

Fonte: CVRD (2009).

Tabela 4.20: Valores máximos para nivelamento e alinhamento.

Parâmetro	Corda (m)	Limite (mm)
Nivelamento	40	± 6
Alinhamento	40	± 14

Fonte: CVRD (2009).

4.6.2 O RAILER e a análise estrutural

4.6.2.1 Conceito

O *Railroad Maintenance System* (RAILER) é uma ferramenta de suporte à decisão que pode ser usado, em partes, para avaliar os níveis de condição de ferrovias, determinar as manutenções e reabilitações (M&R) necessárias e seus respectivos custos, estabelecer orçamentos e desenvolver planos de trabalhos anuais e no longo prazo. Ele foi desenvolvido como parte de um trabalho executado pelo *U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory* (USA-CERL), com o intento de prover a sua comunidade técnica com métodos de abordagem compreensíveis e sistemáticos de gerência e manutenção de ferrovias, permitindo uma gestão eficaz e eficiente de seus trechos ferroviários, através de procedimentos sistemáticos, de tal forma que as partes críticas da rede fossem mantidas em condições ideais com menor custo possível. Este trabalho foi desenvolvido inicialmente com a implantação de normas de gerência de ferrovias, que incluíam inspeção de elementos, frequência e procedimentos. O RAILER veio para concentrar essas normas em um programa computacional que tornasse mais fácil e prático executá-las.

Muitas das tarefas de suporte à decisão são concebidas para executar a análise da condição de trechos e determinar suas necessidades de M&R de forma qualitativa e quantitativa, a partir de inspeções realizadas nos trechos. Entretanto, há diferentes intervenções de gerência passíveis de serem executadas, dependendo das informações da inspeção de via, não necessariamente requerendo o mesmo detalhamento. O RAILER prevê isso fazendo uso de três níveis de inspeção, que são associados com segurança, gerência em nível de rede e de projeto.

A gerência em nível de segurança da via é uma parte crítica de um sistema de gerência de ferrovia, por isso um programa de segurança é normalmente exigido e regido por normas, as quais especificam a frequência das inspeções nos trechos, com o propósito inicial de detectar defeitos ou outros problemas que, se existirem, resultam em níveis de classificação que podem restringir operações. As restrições geralmente vêm na forma de imposição de limites de velocidade até que o defeito ou problema seja corrigido, prejudicando assim, o escoamento de bens e serviços e o transporte de pessoas na via.

Várias inspeções de segurança podem ser realizadas durante o ano, dependendo do tipo de operação e importância do trecho, embora não sejam muito detalhadas por serem executadas de forma expedita. A elevação da segurança de uma via pode ser requerida com urgência se o trecho for de suma importância, o que implica em intervenções não planejadas. Caso velocidades operacionais mais baixas possam ser toleradas, as correções das deficiências de segurança podem ser adiadas, para incorporação em um sistema de M&R planejado.

4.6.2.2 Inspeções

O RAILER foi desenvolvido de forma que seus projetos sejam capazes de identificar todos os tipos de defeitos especificados pela norma TM 5-628 (*Army Railroad Track Standards*), embora com ligeira modificação, para que os procedimentos de inspeções detalhadas fossem adaptados para uso com outras normas de avaliação de trechos, como as da *Federal Railroad Administration* (FRA) e da *Navy*.

Os procedimentos de inspeção são detalhadamente divididos em sete áreas:

- a) Inspeção de dormente;
- b) Inspeção de trilho;
- c) Inspeção de materiais de fixação e outros (F&OTM);
- d) Inspeção de lastro, subleito e via (BSR);
- e) Inspeção de drenagem;
- f) inspeção de aparelhos de mudança de via;
- g) Inspeção geométrica.

As inspeções primárias consistem de observação visual e medidas manuais específicas da estrutura do trecho, as quais podem ser facilitadas pela automatização na coleta de dados tanto da geometria do trecho quanto dos defeitos dos trilhos; já as inspeções regulares completas incluiriam as seis primeiras áreas. A inspeção manual da geometria da via normalmente é realizada somente quando houver indícios concretos de problemas potenciais.

4.6.2.3 Inventário da malha

O local da via e os procedimentos de identificação de seus componentes são particularmente importantes. Outros tipos de informação do inventário como comprimento do trilho, espaçamento entre dormentes etc., são usados quando os dados de inspeção são posteriormente processados no computador.

O procedimento tradicional é localizar os componentes e defeitos da via. A unidade comumente utilizada é o quilômetro mais a quantidade de metros (p. ex. 50+300). Cada trecho da via é dividido em um ou mais segmentos – que é a unidade básica dentro do programa RAILER – e os assimila a um número de identificação único. Os aparelhos de mudança de via e a identificação das curvas também são usados, bem como os componentes da área de geometria da via.

4.6.2.4 Atividades de pré-inspeção

Antes de se iniciar a inspeção dos trechos, três etapas precisam ser vencidas: especificação do grupo de inspeção definição das diretrizes gerais de cada membro; criação de um plano de inspeção para minimizar o tempo e esforço perdidos; obter e distribuir o equipamento.

a) Grupo de inspeção

O grupo de inspeção tem a função de realizar a inspeção visual detalhada do trecho, fazer medidas específicas dos componentes e marcar os componentes que necessitem eventualmente de reparos.

b) Plano de inspeção

O plano de inspeção indica em que ordem os componentes e segmentos de trechos serão analisados. Pode-se, por exemplo, analisar um componente ou determinado grupo de componentes quando da inspeção em um sentido e outro componente ou grupo de componentes na direção oposta, feita no retorno da equipe de inspeção no determinado trecho.

c) Equipamento de inspeção

Os equipamentos de inspeção podem ser divididos em grupos, sendo o primeiro deles os equipamentos de medição e contagem de defeitos; um segundo grupo inclui os equipamentos para gravar as medidas e defeitos; já o último grupo inclui os equipamentos para fazer as marcações apropriadas nos locais onde os defeitos se encontram.

4.6.2.5 Índices de condição

Os índices de condição devem ser capazes de medir objetivamente e quantitativamente a condição geral de cada segmento ou trecho da ferrovia, bem como serem capazes de ajudar na tomada de decisão de M&R necessárias nas categorias básicas, no desenvolvimento de planos de trabalho, medir a eficácia do trabalho, estabelecer taxas de deterioração, fazer projeções de condição da via e priorizar o trabalho de M&R.

O RAILER permite a determinação de índices para trilhos, juntas e fixações (RJCI), para dormentes (TCI) e para lastro, subleito e demais elementos de via (BSCI). A compilação desses três índices fornece o Índice de Condição Geral da Estrutura (TSCI). O desenvolvimento desses índices seguiu os mesmos conceitos usados em outros índices, como o Índice de Condição de Pavimento (PCI).

4.6.2.5.1 Escala dos índices de condição

A escala dos índices de condição foi desenvolvida de forma a prover medidas objetivas e quantitativas, facilitando a análise de condição das vias com linguagem e interpretação comuns entre os usuários.

A escala usada pelos índices do RAILER varia de 0 a 100 e é dividida em sete categorias de condição, como mostra a Figura 4.2. A Tabela 4.21 mostra a descrição pormenorizada de cada categoria usada na escala dos índices de condição.

Figura 4.2: Escala dos índices de condição usada pelo RAILER.

Tabela 4.21: Categorias da escala dos índices de condição.

Índice	Categoria	Descrição da condição
86 – 100	Excelente	Poucos defeitos. Funcionalidade do trecho não comprometida. Nenhuma ação imediata de intervenção requerida. Manutenção de rotina ou preventiva deve ser agendada para análise.
71 – 85	Ótimo	Pouca deterioração. Funcionalidade do trecho não comprometida. Manutenção de rotina ou preventiva deve ser agendada para análise.
56 – 70	Bom	Moderada deterioração. Funcionalidade do trecho pode estar um pouco comprometida. Manutenção de rotina e pequenos reparos podem ser necessários.
41 – 55	Razoável	Significante deterioração. Funcionalidade do trecho comprometida, porém não seriamente. Manutenção de rotina e pequenos reparos são necessários.
26 – 40	Ruim	Severa deterioração em pequena porcentagem do trecho. Deteriorações com menos severidade podem estar presente em outras partes do trecho. Funcionalidade do trecho seriamente comprometida. Reparos maiores são necessários.
11 – 25	Péssimo	Deterioração crítica em grande porcentagem do trecho. Deteriorações com menos severidade podem estar presentes em outras partes do trecho. Trecho com mal funcionamento. Reparos maiores, porém menos que reconstrução são necessários.
0 – 10	Ruptura ou falha	Deterioração extrema em todo ou quase todo o trecho. Trecho não é mais funcional. Reparos maiores, restauração completa ou reconstrução são necessários.

4.6.2.5.2 Modelo de dedução ponderada de densidade

A coleta de dados pelo painel de avaliação não resulta, por si só, em índices de condição desejados. Por esse motivo, um modelo se faz necessário para traduzir as informações coletadas nas avaliações em campo para os índices de condição, ou seja, os índices de condição são modelos matemáticos gerados para estimar a média das avaliações subjetivas feitas por um grupo de avaliadores experientes.

O modelo utilizado pelo RAILER é o de dedução ponderada de densidade, juntamente com análise de regressão para gerar as curvas de dedução.

i. Especificação de defeitos

O grau de deterioração de um grupo de componentes (trilhos e juntas, dormentes, lastro, subleito e fixações) é função de três características específicas: tipos de defeitos; severidade dos defeitos; quantidade de defeitos (normalmente expresso em porcentagem). Cada uma dessas características influencia profundamente na determinação e quantificação do grupo de componentes e devem ser incluídas em um modelo matemático de índice de condição. A seguir, uma breve descrição das três características.

a) Tipos de defeitos

São definidos 25 tipos diferentes de defeitos no RAILER, sendo 6 para o grupo de componentes trilho, juntas e fixações, 8 para o componente dormente e 11 para o grupo de componentes lastro, sub-base e via.

b) Severidade dos defeitos

O RAILER permite que sejam definidos quatro níveis de severidade, como mostra a Tabela 4.22.

Tabela 4.22: Descrição dos níveis de severidade.

Nível de severidade	Descrição
Baixo (L)	Defeitos menores que não afetam as operações na via. Manutenção de rotina pode ser agendada para análise.
Médio (M)	Defeitos podem causar restrições de operação na via. Manutenção deve ser agendada para análise.
Alto (H)	Defeitos que geralmente causam restrições de operação na via. Manutenção deve ser realizada para remover as restrições.
Muito alto (VH)	Defeitos que evitam operações ou colocam uma grave restrição de operação na via. Manutenção e reabilitação devem ser realizadas para restaurar as operações.

Alguns dos defeitos não podem chegar ao nível de severidade muito alto, restringindo, assim, a operação em níveis de menor severidade; da mesma forma, para alguns tipos de defeitos nenhum nível de severidade se faz necessário, pois não existem níveis perceptíveis de influência na operação da via.

c) Quantidade de defeitos

Mesmo que um tipo de defeito não esteja com severidade elevada, ele pode causar sérias restrições de operação na via, pelo fato de ocorrer em grande quantidade em um mesmo trecho.

A quantidade de defeitos em um trecho normalmente é expressa em porcentagem, evidenciando sua densidade no referido trecho.

ii. Desenvolvimento das curvas de dedução e correção

As curvas de dedução e correção foram desenvolvidas para converter os dados de classificação para valores dedutíveis e então traçar uma curva desses valores contra um parâmetro adequado. Em todos os casos, os valores dedutíveis são simplesmente 100 menos a média de classificação dos valores.

a) Curvas de dedução

As curvas de dedução são criadas traçando-se as médias dos valores dedutíveis contra suas respectivas densidades para a combinação de cada tipo de defeito e nível de severidade.

A determinação das equações das curvas de dedução primária é feita por análise de regressão. Como a regressão é baseada somente na matemática, este método não é usado para se obter as curvas finais, uma vez que as curvas de dedução para um dado tipo de defeito formam uma família e, como tal, estas tendências consistentes de uma família são esperadas. Um melhor ajuste nas curvas finais assegura que as tendências estão corretas e coerentes com os acontecimentos físicos. Muitas vezes as curvas de regressão e as curvas de melhor ajuste são muito similares e na maioria dos casos, idêntica.

A curva final de dedução é usada para computar os valores deduzidos para cada defeito individual.

b) Curvas de correção

As curvas de correção são traçadas com as médias dos valores dedutíveis (Valores Dedutíveis Corrigidos – CDV) contra a somatória total dos valores dedutíveis individuais que compõe a combinação de defeitos. O somatório total é chamado de Valor Total Dedutível (TDV).

A simplicidade é o último degrau da sabedoria

(Khalil Gibran)

MÉTODOS E ÍNDICES PROPOSTOS **5**

5.1 FERROVIAS EM ESTUDO

As ferrovias que serviram de base para a pesquisa estão situadas no norte do estado do Paraná e estão concedidas à America Latina Logística S.A. (ALL), constituindo parte da Malha Sul, que engloba as malhas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Figura 5.1). A ALL responde atualmente por cerca de 21 mil quilômetros de vias férreas do Brasil, ou seja, aproximadamente 70% da malha ferroviária nacional. Dentro da Malha Sul, foram separados os trechos correspondentes à Unidade de Produção Norte (UP Norte) e Unidade de Produção Centro (UP Centro), por possuírem um banco de dados históricos consistente.

A escolha desta malha se deu, também, por ser constituída somente de bitola métrica, enquanto que outros trechos compreendem, além da bitola métrica, a bitola larga (1,60 m) e a bitola mista (1,00 m e 1,60 m). De acordo com a Pesquisa Ferroviária da Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2011), a malha ferroviária nacional é composta por bitola métrica em quase 80% de sua extensão.

Figura 5.1: Malha Sul e trechos de estudo.

Para a concepção de índices que sejam representativos, se faz necessário definir de forma adequada quais foram os critérios adotados. Para esta pesquisa considerou-se três critérios: (i) superestrutura da via; (ii) velocidade dos trens; (iii) quantidade de toneladas-brutas anualmente transportadas.

5.1.1 Superestrutura

A superestrutura considerada é composta por:

- i. Lastró: de 30 centímetros de espessura. A espessura do lastro varia nos trechos estudados entre 25 e 35 centímetros aproximadamente, portanto foi escolhida a média simples como valor representativo para a pesquisa;
- ii. Trilho: modelo TR-45. Quase a totalidade da via é composta por esse tipo de trilho. Há outros modelos, como TR-57 e TR-37, no entanto esses trechos foram descartados. Estruturas mais ou menos rígidas podem

mascarar resultados estruturais, mesmo que a geometria não apresente problemas;

- iii. Dormente: de madeira. O dormente de madeira é o utilizado em toda extensão do trecho. Também é o mais usado em todo o país;
- iv. Fixações: rígidas (pregos e tirefonds) e flexíveis (tipo *Deenik*).

5.1.2 Características do tráfego

A velocidade máxima assumida para os trens que circulam nesse trecho é de 60 km/h e não é necessariamente a limite, mas sim a que representa a média das velocidades máximas encontradas.

Nas ferrovias em estudo são transportadas de 800 mil a 1 milhão de toneladas brutas por mês no período de safra (abril a outubro) e metade desse valor no restante do ano, o que representa em torno de 7,2 a 9,0 milhões de toneladas brutas por ano (MTBA). A velocidade média dos trens não ultrapassa 80 km/h, desse modo, de acordo com a classificação da AREMA, a via se encontra na classe D₃.

A escolha dessas características de vias férreas pra formulação dos métodos engloba a realidade de quase a totalidade das ferrovias brasileira e, embora haja uma pequena parte de ferrovias não contempladas, os índices aqui propostos podem ser usados para essas vias que não se encontram dentro desses critérios, desde que apenas a título de comparação e estimativa de previsão de atividades de manutenção e reabilitação, bem como custos.

5.1.3 Manutenções no trecho

Neste trecho são realizadas manutenções constantes e de forma cíclica, diminuindo o risco de se impor restrições de uso à via. A via trabalha sem fechamento desde que foi adotado esse critério de intervenções.

5.2 MODELO GEOMÉTRICO

Como um índice com base em distorções na localização espacial da via férrea pode ser um ótimo meio de avaliação da condição de ferrovias, buscou-se, neste trabalho, um parâmetro capaz de fornecer diretrizes para a caracterização das ferrovias brasileiras com base na análise de diferenças na bitola, no alinhamento, na torção e no empeno que são encontrados na superestrutura da via férrea.

5.2.1 Coleta de dados

A análise da geometria foi feita com base nos dados de alinhamento direito, alinhamento esquerdo, empeno, nivelamento direito, nivelamento esquerdo e bitola nos anos de 2008, 2009, 2010, 2011 e janeiro a julho de 2012. Para a inspeção e coleta de dados no trecho foi usado um carro controle da marca Plasser & Theurer, modelo EM40 (Figuras 5.2 e 5.3).

A automação feita nesse veículo é capaz de coletar dados geométricos da via a cada 10 centímetros, com um comprimento de corda de 10 metros, o que totalizaria aproximadamente 58 milhões de pontos no trecho em estudo. A Figura 5.4 mostra um exemplo de como os dados são apresentados graficamente.

Figura 5.2. Carro controle - frente

Figura 5.3. Carro controle - trás

Para reduzir a quantidade de dados coletados, foram definidos valores considerados como críticos, a partir dos quais houve gravação do parâmetro para posterior análise. A escolha destes valores foi feita não somente com base na literatura consultada, mas também – e principalmente – com referência aos valores que representaram problemas no trecho estudado ao longo dos anos. A Tabela 5.1 mostra os valores acima ou abaixo dos quais os dados referentes para cada parâmetro foram gravados.

Figura 5.4: Dados de variação de bitola captados pelo carro controle.

Tabela 5.1: Valores mínimos para coleta de dados.

Parâmetro	Valor limite (mm)
Bitola	> +20 e < -5
Alinhamento	> +20 e < -20
Nivelamento	> +6 e < -6
Empeno	> +5 e < -5

5.2.2 Análise dos dados

Os trechos que se enquadraram nos valores apresentados na Tabela 5.1 foram definidos como defeituosos e, a partir deles, foram feitos os estudos estatísticos para formulação do índice geométrico de via. As Tabelas 5.2 a 5.6 apresentam as distribuições estatísticas para cada ano de análise. As três últimas colunas da direita mostram a quantidade de dados que se enquadram nos intervalos da média ± 1 , 2 ou 3 vezes o respectivo desvio-padrão.

Tabela 5.2: Distribuição estatística dos trechos com defeito em 2008.

Parâmetro	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	Valor Máximo (mm)	Valor Mínimo (mm)	Até 1 · DP (%)	Até 2 · DP (%)	Até 3 · DP (%)
Bitola negativa	-0,7	3,5	-29,8	-5	64,5	93,1	96,7
Bitola positiva	2,7	2,5	44,3	20,0	65,1	95,3	98,6
Alinhamento esquerdo	-8,9	13,5	133,7	-117,2	65,3	94,2	98,2
Alinhamento direito	-0,3	17,1	113,4	-98,7	65,7	94,9	97,8
Nivelamento esquerdo	1,5	13,5	182,2	-112,8	66,8	95,6	98,1
Nivelamento direito	4,5	14,6	-46,9	43,6	66,5	95,7	99,3
Empeno	0,1	7,9	-27,7	26,1	66,4	95,1	98,8

Tabela 5.3: Distribuição estatística dos trechos com defeito no ano de 2009.

Parâmetro	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	Valor Máximo (mm)	Valor Mínimo (mm)	Até 1 · DP (%)	Até 2 · DP (%)	Até 3 · DP (%)
Bitola negativa	-0,9	3,6	-29,6	-5	65,2	93,9	99,2
Bitola positiva	2,6	2,4	42,4	20	66,2	93,8	98,9
Alinhamento esquerdo	-2,2	21,5	-327,3	165,3	66,1	94,5	99,3
Alinhamento direito	1,2	16,5	255,6	-169,0	66,5	94,8	99,6
Nivelamento esquerdo	-2,5	14,4	-158,9	48,3	65,9	94,9	98,6
Nivelamento direito	-6,6	15,9	-184,6	82,9	65,3	94,7	98,7
Empeno	0,0	8,4	33,8	-25,6	66,8	95,3	99,6

Tabela 5.4: Distribuição estatística dos trechos com defeito em 2010.

Parâmetro	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	Valor Máximo (mm)	Valor Mínimo (mm)	Até 1 · DP (%)	Até 2 · DP (%)	Até 3 · DP (%)
Bitola negativa	-0,4	3,6	-30,4	-5,0	62,8	93,4	98,9
Bitola positiva	2,7	2,4	42,9	20,0	63,8	94,1	99,2
Alinhamento esquerdo	7,0	14,1	71,2	-69,0	67,1	96,8	99,5
Alinhamento direito	4,6	16,4	96,8	-67,4	67,3	96,4	99,7
Nivelamento esquerdo	-1,8	12,2	-109,5	101,1	66,2	65,9	98,8
Nivelamento direito	-12,5	4,2	-33,2	11,8	66,1	96,2	99,3
Empeno	0,2	8,2	49,2	-30,6	67,1	97,0	99,5

Tabela 5.5: Distribuição estatística dos trechos com defeito em 2011.

Parâmetro	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	Valor Máximo (mm)	Valor Mínimo (mm)	Até 1 · DP (%)	Até 2 · DP (%)	Até 3 · DP (%)
Bitola negativa	-0,5	3,7	-31,7	-5,0	68,0	95,5	99,2
Bitola positiva	2,2	2,2	41,6	20,0	66,4	94,1	98,7
Alinhamento esquerdo	-3,2	15,4	179,9	-125,5	67,3	94,7	98,3
Alinhamento direito	7,3	17,8	-104,0	99,8	63,1	95,8	98,8
Nivelamento esquerdo	-2,8	14,0	-64,1	43,7	65,9	95,7	98,0
Nivelamento direito	-4,3	13,9	71,3	-69,6	65,3	95,1	97,9
Empeno	0,4	9,1	39,4	-28,8	66,8	97,1	99,4

Tabela 5.6: Distribuição estatística dos trechos com defeito em 2012.

Parâmetro	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	Valor Máximo (mm)	Valor Mínimo (mm)	Até 1 · DP (%)	Até 2 · DP (%)	Até 3 · DP (%)
Bitola negativa	-0,3	3,3	-38,4	-5,0	65,3	94,6	98,1
Bitola positiva	2,8	2,8	49,7	20,0	66,8	94,5	98,9
Alinhamento esquerdo	4,3	23,6	139,4	-68,9	66,8	96,1	99,3
Alinhamento direito	11,4	11,6	154,1	-140,3	65,4	95,2	97,9
Nivelamento esquerdo	-8,6	17,2	323,4	-233,4	65,9	94,9	98,5
Nivelamento direito	-10,3	11,3	-132,6	51,6	66,1	95,0	97,6
Empeno	0,2	8,8	30,0	-28,8	67,8	95,3	99,6

Analisando-se os dados apresentados nas Tabelas 5.2 a 5.6 percebe-se que, para todos os parâmetros avaliados, a maioria dos valores se encontra em torno da média $\pm 3 \cdot$ desvio-padrão e os pontos de inflexão se encontram na média $\pm$ desvio-

padrão, com indicação de que as curvas apresentam um padrão de distribuição normal (Figura 5.5) apresentado por Ott e Longnecker (2001).

Figura 5.5. Curva normal padronizada.

Esse fato fica mais evidente com a comparação gráfica da curva normal padronizada com as curvas geradas com os dados da via, por exemplo, na variação de bitola no ano de 2008 (Figura 5.6).

Figura 5.6: Distribuição da variação de bitola em 2008.

A Figura 5.7 mostra o comportamento dos parâmetros geométricos avaliados na pesquisa ao longo dos anos de 2008 a julho de 2012.

As médias das variações de bitola e empeno foram as mais constantes ao longo dos anos, uma vez que o controle desses parâmetros e as respectivas intervenções são feitos de forma mais rigorosa. As médias das variações no nivelamento e alinhamento apresentaram maiores oscilações, já que o controle técnico desses parâmetros não é tão rígido.

Figura 5.7: Comportamento ao longo dos anos dos parâmetros geométricos avaliados.

5.2.3 Composição dos índices geométricos

Considerando-se que a variação dos parâmetros analisados (bitola, alinhamento, nivelamento e empeno) apresenta comportamento semelhante a uma distribuição normal, tem-se que a quase totalidade dos defeitos se encaixa no intervalo da média mais ou menos três vezes o desvio-padrão. Dessa forma, definiu-se um índice base para cada parâmetro que represente estatisticamente todo o universo, expressos nas Equações 5.1 a 5.5.

$$IBBN = |\bar{B} - 3 \cdot DP_B|$$

5.1

Sendo:

$IBBN$: Índice base de bitola negativa (mm);

$\overline{B^-}$: Média dos valores de variação de bitola negativa no trecho analisado (mm);

DP_{B^-} : Desvio-padrão dos valores de bitola negativa no trecho analisado (mm).

$$IBBP = \overline{B^+} + 3 \cdot DP_{B^+} \quad 5.2$$

Sendo:

$IBBP$: Índice base de bitola positiva (mm);

$\overline{B^+}$: Média dos valores de variação de bitola positiva no trecho analisado (mm);

DP_{B^+} : Desvio-padrão dos valores de bitola positiva no trecho analisado (mm).

$$IBA = \frac{(|\overline{A_E}| + 3 \cdot DP_{AE}) + (|\overline{A_D}| + 3 \cdot DP_{AD})}{2} \quad 5.3$$

Sendo:

IBA : Índice base de alinhamento (mm);

$\overline{A}$: Média dos valores de variação de alinhamento esquerdo ou direito no trecho analisado (mm);

DP_{AE} : Desvio-padrão dos valores variação de alinhamento esquerdo no trecho analisado (mm);

DP_{AD} : Desvio-padrão dos valores variação de alinhamento direito no trecho analisado (mm).

$$IBN = \frac{(|\overline{N_E}| + 3 \cdot DP_{NE}) + (|\overline{N_D}| + 3 \cdot DP_{ND})}{2} \quad 5.4$$

Sendo:

IBN : Índice base de nivelamento (mm);

$\overline{N}$: Média dos valores de variação de nivelamento esquerdo ou direito no trecho analisado (mm);

DP_N : Desvio-padrão dos valores de variação de nivelamento direito ou esquerdo no trecho analisado (mm).

$$IBE = |\bar{E} + 3 \cdot DP_E| \quad 5.5$$

Sendo:

IBE : Índice base de empeno (mm);

$\bar{E}$: Média dos valores de empeno no trecho analisado (mm);

DP_E : Desvio-padrão dos valores de empeno no trecho analisado (mm).

A análise da densidade dos defeitos, em um determinado trecho, para cada parâmetro, pode ser feita dividindo-se a frequência de ocorrência dos defeitos pelo comprimento total do trecho (Equação 5.6).

$$D_i = \frac{E_{Di}}{E_T} \cdot 100 \quad 5.6$$

Sendo:

D_i : Densidade de defeitos de bitola negativa ou positiva, nivelamento direito ou esquerdo, alinhamento direito ou esquerdo ou empeno (%);

E_{Di} : Extensão com defeitos (m);

E_T : Extensão total do trecho (m).

A qualidade geral de geometria da via é analisada considerando-se todos os parâmetros em conjunto. Para que a análise seja consistente, levou-se em conta que cada defeito tem determinada importância na composição do índice, atribuindo-se pesos diferentes para cada um.

A definição dos limites para cada defeito teve como base os valores recomendados pela AREMA (Tabelas 4.9 a 4.13). No entanto, os valores foram alterados de acordo com a realidade das ferrovias analisadas, com o intuito de limitar os valores em função dos problemas verificados nessas vias ao longo do período do estudo.

A Tabela 5.7 mostra os valores limites para bitola negativa, bitola positiva, alinhamentos esquerdo e direito, nivelamentos esquerdo e direito e empeno adotados na formulação do método.

Tabela 5.7: Valores limites adotados.

Parâmetro	Valor limite (mm)
Bitola negativa	-5
Bitola positiva	+20
Alinhamento	±40
Nivelamento	±15
Empeno	±10

Para a determinação do peso de cada defeito na análise da condição geométrica da via, levaram-se em conta os limites toleráveis para cada um, com base no parâmetro mais crítico. Assim, adotou-se como parâmetro mais crítico a bitola negativa, uma vez que a mesma permite menor tolerância nos valores, e calculou-se o peso dos outros defeitos pela relação entre os limites de cada um e o limite para a bitola negativa (Tabela 5.8).

Tabela 5.8: Pesos atribuídos para cada defeito.

Parâmetro	Relação	Peso
Bitola Negativa (bn)	1,000	0,32
Bitola Positiva (bp)	0,250	0,08
Alinhamento (a)	0,125	0,08
Nivelamento (n)	0,333	0,21
Empeno (e)	0,500	0,31

Em outras palavras, o valor com que cada defeito afeta a via (coluna “Relação” da Tabela 5.8) foi calculado dividindo-se o limite tolerável para bitola negativa pelo limite tolerável para cada um dos outros tipos de defeito. A influência de cada defeito na qualidade da via está expressa na coluna “Peso” da Tabela 5.8 e foi calculada

dividindo-se cada valor individual da coluna “Relação” pela somatória dos valores individuais da mesma coluna.

Ponderados os defeitos dentro da análise geométrica da via, definiu-se o **Índice Qualidade Geométrica (IQG)** (Equação 5.7).

$$IQG = \frac{bn/2 \cdot IBBN + bp/2 \cdot IBBP + a \cdot IBA + n \cdot IBN + e \cdot IBE}{\left[(bn + bp)/2 \right] + a + n + e} \quad 5.7$$

Considerando-se os valores determinados com base na análise de defeitos das ferrovias estudadas e valores limites de 0 a 100, em que 0 é a pior qualidade e 100 a melhor, a Equação 5.7 pode ser expressa pela Equação 5.8:

$$IQG = 100 - 5,695 \cdot (0,32 \cdot IBBN + 0,08 \cdot IBBP + 0,08 \cdot IBA + 0,21 \cdot IBN + 0,31 \cdot IBE) \quad (\text{Equação 5.8})$$

Levando-se em conta os valores admitidos na pesquisa, a faixa de trabalho da via deve estar entre $30 \leq IQG \leq 100$.

Um índice geométrico deve ser capaz de permitir a análise da evolução dos defeitos, ou seja, a perda de qualidade da via ao longo do tempo, para que possam ser tomadas as decisões adequadas de manutenção e reabilitação. A concepção de uma escala faz-se, desse modo, necessária.

Tomando-se como base valores aceitáveis para a via logo após a construção, pode-se definir a faixa de valores dentro dos quais uma via pode ser considerada nova. A Tabela 5.9 apresenta os valores propostos para esta situação.

Tabela 5.9: Valores aceitáveis propostos para vias novas.

Parâmetro	Valor Limite (mm)
Bitola Negativa	-2
Bitola Positiva	+4
Alinhamento	±5
Nivelamento	±4
Empeno	±3

Com o uso da Equação 5.8 e dos valores adotados na Tabela 5.9, pôde-se definir a faixa de valores nos quais a via é considerada muito boa entre $100 \geq \text{IQG} \geq 80$.

Deve-se destacar que a via trabalhando com IQG até 30 significa que as condições normais de velocidade são permitidas. No entanto, se a via apresentar IQG abaixo de 30 não significa que a via deva ser fechada, pois há um limite até o qual a restrição de velocidade permite que a via continue em operação.

Considerando a velocidade máxima de 25 km/h como sendo a velocidade de restrição, os valores limites de cada parâmetro avaliado na pesquisa foram adotados como sendo os de vias férreas de classe D₄ (Tabela 5.10).

Tabela 5.10: Valores aceitáveis propostos com restrição de velocidade.

Parâmetro	Valor limite (mm)
Bitola negativa	-6
Bitola positiva	+35
Alinhamento	±50
Nivelamento	±17
Empeno	±17

Considerando-se os valores da Tabela 5.10, tem-se que a via pode operar com restrição de velocidade quando apresentar IQG entre 0 e 30. Para valores negativos de IQG a via deve ser fechada até que os defeitos sejam reparados.

Embora vias trabalhando com IQG até o mínimo de 30 estejam dentro dos limites aceitáveis, convém determinar um coeficiente de segurança que alerte quando a via está chegando à sua situação crítica, antes que ocorra a restrição de velocidade. Para esta pesquisa adotou-se um limite de 70% para os valores considerados na Tabela 5.7 como sendo o indicador de que a condição geométrica inicial da via precisa ser restaurada (Tabela 5.11).

Tabela 5.11: Valores de segurança propostos.

Parâmetro	Valor Limite (mm)
Bitola Negativa	-3,5
Bitola Positiva	14
Alinhamento	±28
Nivelamento	±10,5
Empeno	±7

Para os valores considerados como de segurança, neste método, tem-se que a via pode trabalhar em condições aceitáveis até o IQG de 50.

A partir dos valores encontrados para IQG com o uso da Equação 5.8 e os limites impostos para cada condição da via, foi possível estabelecer uma escala para a qualidade da via férrea (Figura 5.8 e Tabela 5.12). Ressalta-se que para valores negativos a via deve ser fechada para reparos urgentes.

Figura 5.8: Condição da via em função do IQG.

Tabela 5.12: Valores limites usados no método.

Condição da via	IQG
Muito Boa	80 a 100
Boa	50 a 80
Regular	30 a 50
Ruim	0 a 30
Muito ruim	< 0

O IQG pode ser usado para a tomada de decisão das atividades de manutenção e reabilitação (M&R) da via. A Tabela 5.13 apresenta as recomendações do método.

Tabela 5.13: Atividades de M&R recomendadas.

IQG	Condição da via	M&R recomendada
80 a 100	Muito boa	Nada a fazer
50 a 80	Boa	Manutenção preventiva
30 a 50	Regular	Manutenção corretiva
0 a 30	Ruim	Reforço
< 0	Muito ruim	Reconstrução

5.3 MODELOS ESTRUTURAIS

A qualidade estrutural da via férrea – ou a quantidade e severidade dos defeitos que ela possui – reflete diretamente no custo, na qualidade e na segurança do transporte de cargas e pessoas. Todavia, a determinação ou estimativa dessa qualidade não é tão simples de ser mensurada.

Dois métodos podem ser usados para quantificar e qualificar os defeitos existentes em uma determinada ferrovia: método objetivo e método subjetivo. Ambos os métodos são eficazes, desde que corretamente modelados.

No método objetivo, os defeitos são mensurados e quantificados de forma objetiva com medidas e quantidades por um determinado comprimento de via. Já o método subjetivo procura estimar a quantidade e severidade dos defeitos por meio de avaliadores experientes que atribuem notas aos trechos analisados.

No uso de qualquer um dos dois métodos, somente a coleta de dados feita pelos avaliadores não dá como resposta a qualidade da via férrea. Para isso se faz necessária a determinação de índices que compilem esses dados e os expressem de forma a classificar a via, normalmente em função de uma escala pré-determinada ou de limites aceitáveis.

Os índices de condição devem ser capazes de medir adequadamente e quantitativamente a situação estrutural geral de cada segmento ou trecho da ferrovia, bem como serem capazes de ajudar na tomada de decisão das atividades de M&R necessárias nas categorias básicas, no desenvolvimento de planos de trabalho, na medição da eficácia do trabalho, no estabelecimento de taxas de deterioração, nas projeções de condição da via e na priorização dos trabalhos de M&R.

Neste capítulo são apresentadas propostas de índices que visam classificar a qualidade da via, tanto por um determinado grupo de defeitos, quanto de forma global, com base no procedimento para determinação do *Pavement Condition Index* (PCI) usado em rodovias e aeroportos.

5.3.1 Caracterização do método

O método está descrito em subitens, de forma não só a facilitar a compreensão, mas também direcionar os passos que devem ser seguidos na formulação ou aperfeiçoamento de índices de condição.

5.3.2 Levantamentos de dados

Os levantamentos de defeitos foram realizados nos anos de 2008, 2009, 2010, 2011 e janeiro a julho de 2012 de forma visual. A Tabela 5.1 apresenta um exemplo hipotético de como os dados foram registrados.

Na Tabela 5.1 são consideradas as seguintes colunas:

- Local: quilômetro inicial ou pontual do defeito;
- Ext.: extensão do defeito, dada em metros ou unidades;
- Tam.: tamanho do defeito, dado em milímetros ou unidades;
- Data: data de avaliação do defeito;

- Loc.: localização do defeito (tangente - TG, curva – CV, trilho direito – TD, trilho esquerdo – TE);
- Conc.: conceito – nota dada de forma subjetiva pelo avaliador;
- Elemento: curva (cv) ou tangente (tg) e distância inicial e final em metros;
- Tipo de defeito: tipo de defeito encontrado.

A título de explicação da Tabela 5.14, considerando a primeira linha de dados, foi identificado um defeito de má qualidade de 2 malhas com 4 dormentes cada, no quilômetro 324 mais 100 metros, que se encontra em uma tangente com início no quilômetro 203 mais 340 metros e final no quilômetro 204 mais 205 metros, com peso dado de forma subjetiva pelo avaliador para severidade/extensão de 7.

Tabela 5.14: Exemplo dos dados coletados.

Local	Ext.	Tam.	Data	Loc.	Conc.	Elemento	Tipo de defeito
324,100	2	4	14/04/08	TG	7	203340- 204205tg	DORMENTAÇÃO MAU ESTADO MALHA
326,900	1	13	14/04/08	CV TD	3	206530- 207880cv	JUNTA DESNIVELADA
331,050	1	11	14/04/08	TG TE	1	210870- 211692tg	JUNTA DESNIVELADA
359,900	1	12	14/04/08	TG TE	5	239390- 241130tg	JUNTA DESNIVELADA
359,980	2	4	14/04/08	TG TD	1	239390- 241130tg	DORMENTAÇÃO MAU ESTADO MALHA
361,480	1	10	14/04/08	CV TD	6	1/241130- 242050cv	JUNTA DESNIVELADA
370,810	1	15	14/04/08	TG TE	4	250270- 250900tg	TALA TRINCADA NO MEIO
370,940	1	10	14/04/08	CV TE	7	250900- 251080cv	JUNTA DESNIVELADA
374,900	2	4	14/04/08	TG TD	2	253600- 259600cv	DORMENTAÇÃO MAU ESTADO MALHA

5.3.3 Tipos de defeitos

Embora os defeitos estruturais aos quais as ferrovias estejam sujeitas possam ser divididos e subdivididos em diversos diferentes tipos (item 3.2 do Capítulo 3), nessa pesquisa foram considerados somente os que ocorrem com maior frequência nas ferrovias estudadas.

Com o intuito de se formular índices que analisem a ferrovia não somente de forma global, mas também por determinados conjuntos de defeitos em particular, optou-se por agrupar os defeitos como apresentados nos próximos subitens.

5.3.3.1 Grupo de lastro

Nesse grupo foi considerado somente o lastro e com defeito se:

- Contaminado.

5.3.3.2 Grupo de dormente

Cada dormente ou grupo de dormentes foram considerados como defeituosos se estivessem:

- Em mau estado de conservação;
- Mal posicionado (desenquadrado ou deslocado);
- Faltando.

5.3.3.3 Grupo trilho, juntas e acessórios

Os trilhos, as juntas e acessórios de fixação e de ligação foram considerados do mesmo grupo pelo fato que é esperado que se um problema de acessórios ou juntas ocorra, provavelmente um de trilho também ocorra, entretanto convém dividir e descrever os defeitos referentes a este grupo de acordo com o componente que ele pode afetar.

i. Trilho:

- Desgaste;
- Trincado (na alma ou no patim);
- Trinca no boleto (horizontal, vertical, transversal);
- Trinca nos furos da junta.

ii. Ligação:

- Junta (aberta, desnivelada ou desgastada);
- Tala de junção (trincada ou faltando);
- Parafuso faltando.

iii. Fixação:

- Prego ou tirefond faltando;
- Placa de apoio quebrada.

5.3.4 Níveis de severidade

Simplesmente definir os tipos de defeito não é suficiente para a avaliação completa da via férrea, pois um mesmo defeito pode ter impacto diferente na qualidade da ferrovia dependendo do grau de deterioração que inflige à mesma.

O ideal é que quaisquer classificações tenham sempre um ponto central. Entretanto, para esta pesquisa foram definidos quatro níveis de severidade: baixa (B), média (M), alta (A), muito alta (MA), definidas da seguinte forma:

- Baixa: defeitos com baixa severidade, que não afetam as operações de tráfego e as atividades de manutenção recomendadas são acompanhamento e limpeza dos elementos da superestrutura. Este grau de severidade permite que as ações de manutenção sejam planejadas e executadas na melhor hora;

- Média: defeito com média severidade que podem ou não comprometer o tráfego e gerar restrições. As intervenções para M&R geralmente podem ser planejadas e agendadas;
- Alta: defeitos com severidade alta geralmente causam restrições no tráfego, sobretudo na velocidade limite. As atividades de M&R devem ser executadas com rapidez para reestabelecer a condição adequada de tráfego dos trens;
- Muito alta: defeitos que se encontram com severidade muito alta e podem proibir a circulação de trens. As atividades de M&R não podem ser agendadas e devem ser executadas em caráter de urgência para que a via possa ser liberada ao tráfego novamente.

Poderia ter sido definido o nível de severidade “muito baixo”, no entanto optou-se por desprezar os efeitos dos defeitos que estiverem com severidade abaixo do grau “baixo”, uma vez que estes não afetam nem a estrutura e nem a geometria da via, como também não leva à substituição de qualquer parte da via férrea e a intervenção de M&R seria “Nada a Fazer” para qualquer elemento.

Levando-se em conta que a severidade de nível baixo não acarreta em atividades restritivas de manutenção e reabilitação e normalmente é encontrada em vias novas ou em defeitos que não causam impactos significativos na qualidade das operações, pode-se considerar o nível de severidade alta como ponto central e os extremos como sendo os níveis de severidades média e muito alta.

Nem todos os tipos de defeitos podem apresentar todos os níveis de severidade, pois podem acarretar em interdição da via antes de atingirem os níveis de severidade mais elevados. Dessa forma, ficam os defeitos divididos de acordo com a severidade em:

i. Severidade baixa:

- Dormente mal posicionado (desenquadrado ou deslocado até 20 cm);

- Dormente em mau estado de conservação;
- Junta (aberta, desnivelada ou desgastada);
- Tala de junção trincada;
- Ligação com parafuso faltando;
- Trilho trincado superficialmente no boleto (horizontal, vertical, transversal).

ii. Severidade média:

- Dormente mal posicionado (desenquadrado ou deslocado mais do que 20 cm sem ser na junta);
- Dormente em mau estado de conservação;
- Junta (aberta, desnivelada ou desgastada);
- Tala de junção quebrada;
- Ligação com parafusos faltando;
- Trinca nos furos da junta ≤ 13 mm;
- Trilho com trinca no boleto ≤ 5 cm (horizontal, vertical, transversal);
- Trilho desgastado;
- Trilho com trincas na alma ou no patim ≤ 13 cm.

iii. Severidade alta:

- Dormente mal posicionado (desenquadrado ou deslocado mais do que 20 cm e na junta);
- Dormente em mau estado de conservação;
- Junta (aberta, desnivelada ou desgastada);
- As duas talas de junção trincadas;
- Trinca nos furos da junta > 13 mm e ≤ 38 mm;
- Trilho com trincas no boleto > 5 cm e ≤ 10 cm (horizontal, vertical, transversal);
- Trilho desgastado;
- Trilho com trincas na alma ou no patim > 13 cm e ≤ 76 cm.

iv. Severidade muito alta:

- Dormente em mau estado de conservação;
- Junta (aberta, desnivelada ou desgastada);
- As duas talas de junção faltando ou quebradas;
- Ligação com todos os parafusos faltando;
- Trinca nos furos da junta > 38 mm;
- Trilho com trinca no boleto > 10 cm (horizontal, vertical, transversal);
- Trilho com trincas na alma ou no patim > 76 cm.

v. Sem divisão por níveis de severidade:

- Lastro contaminado;
- Dormente faltando;
- Placa de apoio quebrada;
- Fixação com prego ou tirefond faltando.

5.3.5 Avaliações subjetivas

Em todo o trecho analisado, além de quantificações objetivas dos defeitos, feitas com medidas de severidade e extensão, também foram feitas medidas subjetivas.

As avaliações subjetivas foram feitas por técnicos especializados, responsáveis pela manutenção da malha ferroviária em estudo e estão acostumados a identificar os diversos tipos de defeitos que podem ocorrer nas ferrovias e o grau de severidade que podem assumir. A experiência dos técnicos que fizeram os levantamentos varia de 4 a 8 anos de contato diário com a superestrutura da via férrea. Esses técnicos, ao identificarem os defeitos, deram pesos para cada defeito (coluna Conceito da Tabela 5.14), inicialmente como critério para identificar os locais que precisariam de manutenção com maior urgência, mas que nesta pesquisa foram tratados e usados para estimar a severidade que o defeito em dado elemento da superestrutura apresentava na data da avaliação.

Semanalmente os técnicos percorrem todo o trecho estudado com o intuito de identificar visualmente os defeitos e propor intervenções de manutenção antes que uma situação crítica force o fechamento da via para reparos emergenciais. Esse trabalho é de praxe da concessionária nesses trechos da UP Norte e UP Centro e vêm trazendo bons resultados com relação ao índice de acidentes.

A calibração da avaliação subjetiva foi feita por meio de uma entrevista feita com cada avaliador para identificar a nota que cada um atribuía ao se deparar com determinado tipo de defeito com dado grau de severidade e, ainda, foram questionados acerca da condição geral do trecho analisado. Com isso foi possível elencar em determinado padrão as severidades em função da média das notas dadas pelos avaliadores.

5.3.6 Densidade

A análise da extensão de cada defeito foi feita proporcionalmente a um determinado comprimento de via ou elemento da superestrutura, desse modo pôde ser avaliada a quantidade de defeitos que ocorrem por unidade de comprimento ou de elemento.

À caracterização da quantidade de vezes que um tipo de defeito aparece em um trecho da via foi dado o nome de *densidade*. O comprimento analisado variou de acordo com o elemento estudado, por exemplo, para o lastro foi usado um comprimento de 50 metros, já os trilhos foram analisados por elemento ou trilho-equivalente de 12 metros. A densidade dos defeitos nos demais elementos da superestrutura da via foram calculados como exposto no item 3.2 do Capítulo 3.

5.3.7 Curvas de ponderação

As curvas de ponderação foram usadas primeiramente pelo USACERL para formular um índice de qualidade para pavimentos de aeroportos (SHAHIN, DARTER e KOHN,

1976). Posteriormente esse conceito foi estendido para outros tipos de pavimentos, como os rodoviários (WANG e HAN, 2002).

Vários tipos diferentes de defeitos podem ocorrer em um determinado grupo de defeitos – como o de trilhos, juntas e acessórios – e cada um desses defeitos podem se apresentar em níveis de severidade distintos dentro do mesmo trecho. O conceito de curva de ponderação está em atribuir pesos para todas as relações defeito-severidade-extensão por meio de notas dadas por um painel de avaliadores experientes, de tal forma que se possam traçar curvas de valores de ponderação em função da densidade de cada defeito e, assim, avaliar a qualidade da via não somente pela severidade do defeito, mas também por sua extensão.

As curvas de ponderação também devem levar em conta se um determinado defeito aparece mais de uma vez no mesmo trecho. Por isso, para cada defeito foram traçados grupos de curvas também em função do número de defeitos em um trecho.

As Tabelas 5.15 a 5.45 apresentam as notas dadas pelos especialistas para cada situação.

Tabela 5.15: Notas para lastro contaminado.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
12	95	90	90	90	85
18	85	80	75	80	80
25	75	80	70	75	70

Tabela 5.16: Notas para dormente mal conservado e severidade baixa.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
1	100	100	95	100	95
5	90	95	90	90	90
10	85	80	75	75	85

Tabela 5.17: Notas para dormente mal conservado e severidade média.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
5	80	75	80	85	80
10	70	65	70	75	65
14	65	60	65	70	60

Tabela 5.18: Notas para dormente mal conservado e severidade alta.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
2	90	95	90	90	90
8	65	60	65	60	65
21	50	45	45	40	50

Tabela 5.19: Notas para dormente mal conservado e severidade muito alta.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
1	90	90	90	90	90
3	70	65	60	60	65
9	40	45	45	40	40

Tabela 5.20: Notas para dormente mal posicionado e severidade baixa.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
10	80	85	80	85	75
25	70	65	55	60	65
37	60	55	40	50	55

Tabela 5.21: Notas para dormente mal posicionado e severidade média.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
3	85	85	80	90	80
19	40	45	45	40	50
26	30	35	30	30	40

Tabela 5.22: Notas para dormente mal posicionado e severidade alta.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
1	85	85	80	85	80
4	50	45	50	40	50
11	20	25	30	25	35

Tabela 5.23: Notas para dormente faltando.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
1	100	95	100	100	95
3	95	90	90	90	85
6	80	75	75	80	75

Tabela 5.24: Notas para trilhos com 1 tipo de defeito e severidade baixa.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
1	100	95	100	100	95
10	95	85	90	90	85
25	85	80	85	80	75

Tabela 5.25: Notas para trilhos com 2 tipos de defeitos e severidade baixa.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
5	95	85	90	95	90
10	85	80	80	85	85
15	80	75	75	80	80

Tabela 5.26: Notas para trilhos com 3 tipos de defeitos e severidade baixa.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
1	90	85	90	90	85
5	80	80	85	85	75
10	75	75	80	75	70

Tabela 5.27: Notas para trilhos com 4 tipos de defeitos e severidade baixa.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
1	80	80	85	85	80
5	70	65	75	80	70
10	60	55	65	75	65

Tabela 5.28: Notas para trilhos com 1 tipo de defeito e severidade média.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
2	90	95	90	95	90
12	80	80	80	75	80
18	75	70	70	70	75

Tabela 5.29: Notas para trilhos com 2 tipos de defeitos e severidade média.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
2	95	85	90	95	90
6	85	80	80	85	85
9	80	75	75	80	80

Tabela 5.30: Notas para trilhos com 3 tipos de defeitos e severidade média.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
3	80	75	70	75	70
10	60	65	65	65	60
15	65	60	60	55	55

Tabela 5.31: Notas para trilhos com 4 tipos de defeitos e severidade média.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
1	80	75	85	85	80
4	70	60	75	75	70
10	60	55	65	75	65

Tabela 5.32: Notas para trilhos com 1 tipo de defeito e severidade alta.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
5	70	65	75	75	65
10	45	55	45	50	45
15	35	40	30	40	35

Tabela 5.33: Notas para trilhos com 2 tipos de defeitos e severidade alta.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
5	65	60	70	65	60
10	40	50	40	45	35
15	35	35	30	35	25

Tabela 5.34: Notas para trilhos com 3 tipos de defeitos e severidade alta.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
5	55	55	60	50	50
10	35	40	35	40	30
15	30	30	25	30	20

Tabela 5.35: Notas para trilhos com 4 tipos de defeitos e severidade alta.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
5	50	45	50	45	40
10	35	30	30	35	25
15	30	25	25	20	20

Tabela 5.36: Notas para ligação com 1 tipo de defeito e severidade baixa.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
13	95	90	90	95	90
25	85	80	85	90	80
38	75	70	75	80	75

Tabela 5.37: Notas para ligação com 2 tipos de defeitos e severidade baixa.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
10	85	80	90	80	85
20	75	70	80	70	70
40	65	60	70	65	60

Tabela 5.38: Notas para ligação com 3 tipos de defeitos e severidade baixa.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
10	80	75	85	75	80
20	70	60	70	60	65
40	60	50	60	45	50

Tabela 5.39: Notas para ligação com 1 tipo de defeito e severidade baixa.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
13	75	70	70	75	70
25	65	60	55	60	60
38	55	50	45	50	45

Tabela 5.40: Notas para ligação com 2 tipos de defeitos e severidade baixa.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
10	70	75	65	70	65
20	60	65	50	55	45
40	50	55	35	40	35

Tabela 5.41: Notas para ligação com 3 tipos de defeitos e severidade baixa.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
10	70	70	65	65	60
20	50	55	45	45	40
40	45	45	30	35	30

Tabela 5.42: Notas para ligação com 1 tipos de defeitos e severidade alta.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
13	50	45	60	50	55
25	40	35	45	35	40
38	30	20	35	25	30

Tabela 5.43: Notas para ligação com 1 tipos de defeito e severidade muito alta.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
13	40	35	45	40	35
25	30	25	25	25	20
38	25	15	20	20	15

Tabela 5.44: Notas para fixação com 1 tipos de defeito e severidade alta.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
10	80	90	80	75	80
20	55	70	60	65	65
30	35	45	40	40	45

Tabela 5.45: Notas para fixação com 2 tipos de defeito e severidade alta.

Densidade (%)	Nota				
	Avaliador 1	Avaliador 2	Avaliador 3	Avaliador 4	Avaliador 5
0	100	100	100	100	100
10	60	70	65	60	70
20	45	55	40	40	45
30	25	35	30	25	20

As curvas traçadas representam a linha de tendência formada pelas médias aritméticas das notas dos avaliadores para cada situação. A escala das notas dadas variou de 0 a 100 e os valores de ponderação foram determinados subtraindo a nota

dada de 100, com o intuito de que a maior nota, ou seja, a melhor situação tivesse impacto menor na determinação da deterioração da via. Como não havia defeitos suficientes que abrangessem toda a extensão de cada trecho avaliado, as curvas de ponderação foram extrapoladas até a densidade de 100%, com mais um ponto intermediário em 50%, com notas atribuídas junto aos avaliadores ao se considerar tal hipótese. Considerou-se, ainda, continuidade de comportamento das curvas na região extrapolada com relação à região efetivamente avaliada.

As Figuras 5.9 a 5.25 apresentam as curvas de ponderação para cada relação defeito-severidade-extensão considerada na pesquisa. As linhas cheias representam os valores calibrados junto aos avaliadores e as linhas tracejadas os valores extrapolados.

Figura 5.9: Curva de ponderação para lastro contaminado.

Figura 5.10: Curva de ponderação para dormente em mau estado e severidade baixa.

Figura 5.11: Curva de ponderação para dormente em mau estado e severidade média.

Figura 5.12: Curva de ponderação para dormente em mau estado e severidade alta

Figura 5.13: Curva de ponderação para dormente em mau estado e severidade muito alta.

Figura 5.14: Curva de ponderação para dormente mal posicionado e severidade baixa.

Figura 5.15: Curva de ponderação para dormente mal posicionado e severidade média.

Figura 5.16: Curva de ponderação para dormente mal posicionado e severidade alta.

Figura 5.17: Curva de ponderação para dormente faltando.

Figura 5.18: Curvas de ponderação para trilhos com 1, 2, 3 ou 4 tipos de defeitos e severidade baixa.

Figura 5.19: Curvas de ponderação para trilhos com 1, 2, 3 ou 4 tipos de defeitos e severidade média.

Figura 5.20: Curvas de ponderação para trilhos com 1, 2, 3 ou 4 tipos de defeitos e severidade alta.

Figura 5.21: Curvas de ponderação para juntas com 1, 2 ou 3 tipos de defeitos e severidade baixa.

Figura 5.22: Curvas de ponderação para juntas com 1, 2 ou 3 tipos de defeitos e severidade média.

Figura 5.23: Curva de ponderação para juntas com 1 tipos de defeitos e severidade alta.

Figura 5.24: Curva de ponderação para juntas com 1 tipos de defeitos e severidade muito alta.

Figura 5.25: Curva de ponderação para fixação com 1 ou 2 tipos de defeitos e severidade alta.

5.3.8 Curvas de correção

Os modelos representados pelos índices de condição devem levar em conta que mais de um tipo de defeito ou diversos níveis de severidade de um mesmo defeito podem ocorrer em um mesmo elemento ou trecho da ferrovia. Em face disso, um dado defeito acaba tendo um impacto menor na condição da via quando ocorre junto com outros tipos de defeitos ou níveis de severidade.

Com o intuito de ponderar a condição da via quando esta se encontra com diversos tipos de defeitos e níveis de severidade, foram criadas as curvas de correção, que são definidas em função de um determinado grupo de defeitos, da soma total de valores individuais ponderados, de um valor ponderado mínimo individual, do número de diferentes tipos de defeito e das severidades. De forma simplificada, as curvas de correção são determinadas pela relação dos valores individuais ponderados pela somatória de valores ponderados e cada defeito avaliado gera uma curva de correção.

As curvas de correção usadas nesta pesquisa são baseadas nas curvas propostas por Uzarski (1991). A Figura 5.26 apresenta as curvas de correção para o grupo “Trilhos, Juntas e Acessório” e a Figura 5.27 para o grupo “Dormentes”. Para o grupo “Lastro” não houve necessidade de se criarem curvas de correção, uma vez que o único defeito analisado foi se o lastro estava contaminado, sem níveis de severidade. A variável “q” indica o número de defeitos e/ou severidades encontrados em cada análise.

Figura 5.26: Curvas de correção para o grupo "Trilhos, Juntas e Acessórios".

Figura 5.27: Curvas de correção para o grupo "Dormentes".

5.3.9 Proposição de índices estruturais individuais e global

Os índices estruturais propostos nesse item foram divididos para representar cada grupo de defeitos e também para representar a condição global da via.

Os modelos que representam cada grupo podem ser expressos genericamente pela Equação 5.9.

$$IC = 100 - \sum_{i=0}^d \sum_{j=0}^s P(d_i; s_j; D_{ij}) \cdot C(d; s) \quad 5.9$$

Em que:

IC = índice de condição para cada grupo;

P = valor de ponderação;

d = tipo de defeito;

s = nível de severidade;

D = densidade;

C = fator de correção.

O valor de “P” é determinado por meio das curvas de ponderação propostas anteriormente e o valor de “C” por meio das curvas de correção.

Para validar os modelos feitos para cada grupo, confrontaram-se as médias dos índices de condição calculados para trechos aleatórios da malha ferroviária estudada, com a média das avaliações feitas pelos avaliadores. As Figuras 5.28, 5.29 e 5.30 mostram as relações entre esses parâmetros para cada grupo de defeitos, bem como coeficiente de determinação de cada relação.

Os índices ficaram assim definidos:

- ICET: Índice de condição estrutural do grupo Trilhos, Juntas e Acessórios;
- ICED: Índice de condição estrutural do grupo Dormentes;
- ICEL: Índice de condição estrutural do grupo Lastro.

Denominaram-se as avaliações nos trechos como:

- ACET: Média das avaliações da condição estrutural do grupo Trilhos, Juntas e Acessórios para cada trecho;
- ACED: Média das avaliações da condição estrutural do grupo Dormentes para cada trecho;
- ACEL: Média das avaliações da condição estrutural do grupo Lastro para cada trecho;

As linhas cheias representam as curvas de tendência dos parâmetros avaliados e as linhas tracejadas, a extrapolação para esses mesmos parâmetros.

Figura 5.28: Relação entre ICET e ACET.

Figura 5.29: Relação entre ICED e ACED.

Figura 5.30: Relação entre ICEL e ACEL.

A comparação entre os valores avaliados e os valores calculados se mostrou bastante consistente. Em todos os casos o coeficiente de determinação ficou acima de 0,85 e a diferença média entre os valores avaliados e os calculados não passou de 3 pontos (Figuras 5.28 a 5.30).

Uzarski (1991) apresenta um modelo para índices globais de condição com base em 3 termos, sendo cada um representante de um índice individual de condição estrutural. Por meio de regressão linear, o autor conseguiu determinar o peso com que cada índice individual afetava a condição global da via (Equação 5.10).

$$IG = 5,54 + 0,58 \cdot (IC_b) + 0,49 \cdot (IC_m) - 0,10 \cdot (IC_a) \quad 5.10$$

Sendo “IG” o índice global de condição, “IC” os índices individuais, “b” o grupo de defeitos que apresenta índice mais baixo, “m” o grupo de defeitos que apresenta índice médio e “a” o mais alto.

Com este modelo foi possível concluir que o índice de grupo que apresentasse valor mais baixo influenciava de forma mais incisiva no índice global. Embora o modelo apresentasse coeficiente de determinação de 0,9, ele não era capaz de servir para qualificar estruturalmente um pavimento de forma adequada, uma vez que não tinha fundo de escala igual a 0 e, principalmente, permitia valores negativos.

Usando o método da tentativa e erro, Uzarski chegou à Equação 5.11, em substituição à Equação 5.10 e, dessa forma, conseguiu-se sanar os problemas de escala.

$$IG = 0,50 \cdot (IC_b) + 0,35 \cdot (IC_m) - 0,15 \cdot (IC_a) \quad 5.11$$

De acordo com Uzarski (1991), a Equação 5.11 tem coeficiente de determinação de 0,86 e a análise das médias das avaliações com relação aos índices é de 0, o que mostra boa resposta.

Com base nessa premissa de pesos diferentes para cada índice individual que compõem o índice global e que o índice individual que tem menor valor, também tem maior influência no índice global, procurou-se determinar constantes que melhor representassem a realidade da malha estudada. Para isso foram selecionados 9 trechos de 250 metros, em locais aleatórios da malha estudada, nos quais foram avaliados os índices de grupos de defeitos e, com eles, encontrados os pesos para cada grupo de defeito que conduz à melhor resposta da relação entre o índice estrutural global e a avaliação estrutural global. A Tabela 5.46 mostra os valores determinados para os índices de cada grupo de defeitos e as curvas propostas nesta pesquisa e a média das avaliações globais (ACEG) feitas pelo painel de avaliadores nos trechos estudados.

O **Índice de Condição Estrutural Geral (ICEG)** gerado a partir do modelo de regressão linear que considera os três grupos de defeitos ponderados com peso maior para o grupo com menor nota e peso menor para o grupo com maior nota (Equação 5.3), usado juntamente com as curvas de ponderação propostas nesta pesquisa pôde-se traçar a curva da Figura 5.31.

Tabela 5.46: Valores de ICET, ICED, ICEL e ACEG.

Trecho	Curvas Propostas			ACEG
	ICET	ICED	ICEL	
1	79	65	55	60
2	65	44	40	45
3	87	85	67	76
4	73	65	50	54
5	80	74	69	73
6	77	65	60	65
7	82	71	55	61
8	85	76	62	65
9	79	57	54	59
10	90	75	64	76
11	66	47	45	50
12	78	75	65	69
13	92	80	70	79
14	79	69	62	70
15	90	82	74	84

Figura 5.31. Relação entre ICEG e ACEG considerando as curvas de ponderação propostas.

As curvas de ponderação propostas para os defeitos considerados nos 3 grupos distintos e usadas para calcular o ICEG proporcionaram um coeficiente de regressão de 0,91 e diferença entre as médias dos valores calculados para os medidos de 0 (Figura 5.31), o que indica excelente correlação.

A escala que representa a qualidade da via (Figura 5.32 e Tabela 5.47) foi construída com as classes definidas em função da severidade dos defeitos (item 3.2 do Capítulo 3) e permite analisar a qualidade estrutural da via férrea com relação a cada grupo de defeitos ou a condição global.

Figura 5.32: Qualidade estrutural da via.

Tabela 5.47: Atividades de M&R recomendadas para a superestrutura.

ICET, ICED, ICEL ou ICEG	Condição da via	M&R recomendada
90 a 100	Muito boa	Nada a fazer
65 a 90	Boa	Manutenção preventiva
35 a 65	Regular	Manutenção corretiva
10 a 35	Ruim	Reabilitação
0 a 10	Muito ruim	Reconstrução

Para a escolha do tipo de intervenção adequada, podem ser construídas árvores de decisão em função dos índices estruturais (Figura 5.33).

Figura 5.33: Árvore de decisão para defeitos estruturais.

Por não saber que era impossível, ele foi lá e fez

(Jean Cocteau)

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Com a análise da coleta e processamento dos dados, entrevistas e modelos propostos, pôde-se concluir que:

- É possível implantar sistemas de gerência nas ferrovias brasileiras. Para isso é necessário analisar tanto a geometria da via, quanto os elementos da superestrutura;
- As manutenções feitas de forma cíclica ou programada diminuem a possibilidade da via ser fechada por problemas geométricos ou estruturais. Nos trechos estudados, não houve fechamento das vias desde a implantação da manutenção cíclica;

- A coleta de dados por caminhamento é trabalhosa, no entanto permite contato direto com a superestrutura da via, seus defeitos e estado de degradação. Os dados coletados dessa forma se mostraram bastante consistentes e efetivos para formulação de modelos;
- A análise por caminhamento permitiu identificar alguns problemas que não seriam identificados pela análise automatizada, como é o caso dos trechos com substituição de trilhos T-45 por T-57, que tornou a estrutura mais rígida e melhorou alguns parâmetros geométricos, mesmo em locais com problemas nos dormentes e/ou lastro e/ou acessórios, o que pode mascarar alguns resultados. Esse tipo de análise permitiu que trechos como esse fossem excluídos da pesquisa;
- As entrevistas se mostraram um ponto importante em sistemas de gerência de ferrovias, pois completaram algumas lacunas que não puderam ser preenchidas com informações medidas;
- Os conceitos e preceitos aplicados em gerência de pavimentos rodoviários podem ser transplantados, em grande parte, para formulação de sistemas de gerência de ferrovias;
- A qualidade geométrica da via, bem como a evolução dos defeitos geométricos pode ser analisada com o uso de *Índices de Qualidade*; tal qual a superestrutura da via pode ser analisada por *Índices de Condição*;
- Com base no modelo estrutural é possível concluir que o índice de grupo que apresenta valor mais baixo influencia de forma mais incisiva no índice global;

- É possível recomendar intervenções de manutenção e reabilitação em função dos Índices propostos, assim como o melhor momento de realizá-las. Desse modo, o tráfego de trens sofre a mínima interferência possível;
- Há necessidade de transparência com relação ao estado da malha férrea brasileira. Os dados de qualidade das vias, que deveriam ser de domínio público, só foram conseguidos mediante contrato de confidencialidade.

Como complemento à pesquisa e sugestões para pesquisas futuras, recomenda-se:

- Analisar a infraestrutura das ferrovias, sobretudo o subleito e os sistemas de drenagem;
- Estudar de forma criteriosa o ciclo de vida dos materiais componentes da via férrea;
- Estudar modelos de desempenho, com base na experiência rodoviária, que representem as ferrovias brasileiras;
- Propor métodos de avaliação da qualidade das ferrovias com base em trechos aleatórios e não somente a toda extensão da malha;
- Propor outros usos para os Índices de Qualidade e Condição, de modo a incorporar sua resposta aos orçamentos necessários;
- Incluir a influência das passagens em nível no desempenho da ferrovia.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR-7590**: Trilho “Vignole”. Rio de Janeiro: 1991.

_____. **ABNT NBR-7511**: Dormente de madeira para via férrea. Rio de Janeiro, 2005.

AMERICAN RAILWAY ENGINEERING AND MAINTENANCE-OF-WAY ASSOCIATION – AREMA. ***Manual for Railway Engineering***. Lanham, Maryland: 2012.

ANDERSSON, M. ***Strategic Planning of Track Maintenance – State of the Art***. Report TRITA-INFRA 02-035, Royal Institute of Technology, Department of Infrastructure, Stockholm: KTH, 2002.

ANPTRILHOS (2012). **A importância da ferrovia para o desenvolvimento econômico**. Disponível em: <http://www.anptrilhos.org.br/index.php/noticias/572-a-importancia-da-ferrovia-para-o-desenvolvimento-economico>. Acesso em: 17 abril 2012.

APS, M. **Análise de métodos de avaliação de superfície de pavimentos asfálticos em vias urbanas utilizando o método do PCI**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo: 2000.

BHASKAR, D.V; RANJENDRAN, S.; SOOD, S.V.B. ***Implementation of track management system in Bangalore Dvn and suggestions for improvements***. Indian Railways. Nova Delhi: 2010.

BORGES NETO, C. B. **Manual didático de Ferrovias**. Departamento de Transportes. Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná. 193p. Curitiba, Paraná: 2010.

BRASIL TRILHOS. **Catálogos**. Disponível em: <http://www.brasiltrilhos.com.br/>. Acesso em: Janeiro de 2011.

BRINA, H. L. (1979). **Estradas de ferro – 1º Volume – Via Permanente**. Ed. LTC. 211p. Rio de Janeiro: 1979.

CIA. **Central Intelligence Agency**. Disponível em: www.cia.gov/. Acesso em: 16 abril 2012.

CN. Canadian National Railways. **Safety Management System**. Disponível em: www.cn.ca. Acesso em: janeiro de 2012.

COMPANHIA VALE DO RIO DOCE – CVRD. **Manual Técnico de Via Permanente**. 362p. Disponível em: www.valec.gov.br.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES – CNT. **Pesquisa CNT de Ferrovias 2011**. Disponível em: www.cnt.gov.br. Acesso em: 15 de abril de 2012.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES – CNT. **Anuário estatístico**. Disponível em: www.cnt.gov.br. Acesso em: 15 de abril de 2012.

DFT. **Department for transport**. <http://www.dft.gov.uk/> Acesso em: 16 de abril de 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT (2011). **Glossário de termos ferroviários**. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/aplweb/sis_glossario/Consulta.asp. 2011>. Acesso em: 12 de maio de 2011.

EBERSÖHN, W.; CONRAD, J.R. ***Implementing a railway infrastructure maintenance system***. Amtrak, Washington, D.C.: 2003.

FEDERAL RAILROAD ADMINISTRATION – FRA. ***Federal Track Safety Standards Fact Sheets***. Washington, D.C.: 2008.

FERNANDES JR, J.L.; ODA, S.; ZERBINI, L.F. ***Defeitos e atividades de manutenção e reabilitação em pavimentos asfálticos***. Gráfica EESC USP. Reimpressão. São Carlos: 2006.

HAAS, R.; HUDSON, W.R.; ZANIEWSKI, J. ***Modern Pavement Management***. 577p. Malaba, Florida, EUA: Krieger Publishing Company, 1994.

HYSLIP, J.P.; TROSINO, M.J.; SELIG, E.T. ***Fractal analysis of geometry data. Federal Railway Administration***. Alexandria, Va.: 2002.

IR. ***Indian Railways***. Disponível em: <http://www.indianrailways.gov.in/>. Acesso em 16 de abril de 2012.

LI, D.; SALAHIFAR, T.; MALONE JR., J.; KALAY, F.K. ***Development of performance-based track geometry inspection***. 7th International heavy haul conference. p. 461-465. Brisbane, Austrália: 2001.

MADEJSKI, J.; GRABOZYK, J. ***Continuous geometry measurement for diagnostics of tracks and switches***. Silesian University of Technology. Gliwice, Poland: 2000.

MEDINA, J. ***Mecânica dos Pavimentos***. 380p. Rio de Janeiro: Ed. UFRJ, 1997.

MEDINA, J.; MOTTA, L.M.G. ***Mecânica dos Pavimentos***. 2ª Edição. 570p. Rio de Janeiro: Ed. UFRJ. Rio de Janeiro, 2006.

MR. ***The Ministry of Railway of the People's Republic of China***. Disponível em: www.china-mor.gov.cn. Acesso em: 16 abril 2012.

MUNDREY, J.S. ***Railway track engineering. Track Tolerance, track inspection, and track recording.*** p. 481-522. Índia: McGraw-Hill, 2003. Disponível em: <http://booklens.com/mundrey/railway-track-engineering>. Acesso em 10 de março de 2009.

OFFICE FOR RESEARCH AND EXPERIMENTS OF THE INTERNATIONAL UNION OF RAILWAYS – ORE. ***Quantitative Evaluation of Geometry Track Parameters Determining Vehicle Behavior: Introductory Study to the Problem of Assessing Track Geometry on the Basis of Vehicle Response.*** Report N° 1. Netherlands: 1991.

OTT, R.L; LONGNECKER, M. ***An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis.*** 5ª Edição. 1152p. Pacific Grove, EUA: Editora Duxbury, 2001.

PANTIGOSO, J. F. G. ***Uso de Sistemas de Informação Geográfica para a Integração da Gerência de Pavimentos Urbanos com as Atividades das Concessionárias de Serviços Públicos.*** Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos: 1998.

PETERSON, D.E. ***Pavement Management Practices.*** National Cooperative Research Program. Synthesis of Highway Practice, 135. 139 p..Transportation Research Board, 1987.

PNLT. ***Plano Nacional de Logística de Transportes – 2009.*** Disponível em: <http://www.transportes.gov.br/conteudo/3280>. Acesso em: 10 de abril de 2012.

RAC. ***Railroad Association of Canada.*** Disponível em: <http://www.railcan.ca/>. Acesso em: 16 de abril de 2012.

RAIL INDUSTRY SAFETY AND STANDARD BOARD – RISSB. **Railway of Australia Manual. Section 1 – Civil**. Kingston, Australia: 2001.

RFFSA. **Histórico da extinta Rede Ferroviária Federal S.A.** Disponível em: <http://www.rffsa.gov.br/>. Acesso em 12 de abril de 2011.

RODRIGUES, C.A. (2001). **Contribuição ao planejamento da manutenção preditiva da superestrutura ferroviária**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro: 2001.

RR. **Russian Railways**. Disponível em: http://eng.rzd.ru/main-eng/public/rzden?STRUCTURE_ID=704. Acesso em: 17 abril 2012.

SADEGHI, J.; AKBARI, B. **Field investigation on effect of railway track geometry parameters on rail wear**. International Journal of Zhejiang University, Science A, 7 (11), p. 1846-1855. China: 2006.

SHAHIN, M.Y; DARTER, M.I.; KOHN, S.D. **Development of a Pavement Maintenance Management System. Volume I**. Airfield Pavement Condition Rating. Technical Report TR-76-27. Estados Unidos da América: 1976.

SHAHIN, M. Y.; KHON, S. D. **Development of a pavement condition rating procedure for roads, streets and parking lots**. Vol.1 - Distress Identification Manual. CERL-TR-M-268. U.S. Army, 1979a.

SHAHIN, M. Y.; KHON, S. D. **Development of a pavement condition rating procedure for roads, streets and parking lots**. Vol.2 - Distress Identification Manual. CERL-TR-M-268. U.S. Army, 1979b.

SILVA, E.T.F. **Análise da evolução dos defeitos da via permanente da MRS para planejamento de intervenções preditivas de manutenção**. Instituto Militar de Engenharia – IME. Monografia do curso de especialização em transporte ferroviário de cargas. 73p. Rio de Janeiro: 2006.

SILVA, L.F.M. **Fundamentos teórico-experimentais da mecânica dos pavimentos ferroviários e um esboço de um sistema de gerência aplicado à manutenção da via permanente.** Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE. Tese de Doutorado. 333p. Rio de Janeiro: 2002.

UNITED STATES ARMY CONSTRUCTION ENGINEERING RESEARCH LABORATORIES – USACERL. **RAILER User Guide.** Illinois: 1998.

UZARSKI, D.R. ***Development of a Track Structure Condition Index (TSCI).*** Universidade de Illinois. Tese de doutorado. Illinois: 1991.

WANG, Z.; HAN, L. D. ***Pavement distress – deduct value determination: a new approach.*** Road & Transport Research. Volume 11. Número 1. 2002.

ZHANG, Y.J.; EL-SIBAIE, M.; LEE, S. FRA track quality indices and distribution characteristics. **Proceedings**, AREMA Annual Conference. Lanham, Md.: 2004.

ANEXO A

PROCEDIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DO VALOR DE PONDERAÇÃO CORRIGIDO E DOS ÍNDICES ESTRUTURAIS

Neste anexo é apresentado um exemplo de como pode ser determinado o valor dedutível corrigido e índice estrutural. O procedimento para determinação desses parâmetros é análogo para o grupo de defeitos “Dormente”.

Suponham-se os seguintes defeitos referentes ao grupo de defeitos “Trilho, juntas e ligações” no trecho em estudo:

- $a = 1$ defeito de trilho de severidade baixa;
- $b = 1$ defeito de trilho de severidade média;
- $c = 2$ defeitos de junta de severidade baixa;
- $d = 2$ defeitos de junta de severidade média;
- $e = 9$ defeitos de fixação.

O primeiro passo é a definição das densidades (D) dos defeitos. Considerando-se 6 juntas, 6 trilhos e 60 dormentes, tem-se:

- $D_a = 1/6 = 16,67\%$ (página 44)
- $D_b = 1/6 = 16,67\%$ (página 46)
- $D_c = 2/6 = 33,33\%$ (página 46)
- $D_d = 2/6 = 33,33\%$ (página 46)
- $D_e = 9/(60 \cdot 4) = 3,75\%$ (página 47)

O segundo passo é a determinação dos valores de ponderação (VP) baseados nas curvas de ponderação propostas:

- $VP_a = 16$ (Figura 5.18)
- $VP_b = 25$ (Figura 5.19)
- $VP_c = 33$ (Figura 5.21)
- $VP_d = 53$ (Figura 5.22)
- $VP_e = 6$ (Figura 5.25)

Em seguida, listar os valores de ponderação em ordem decrescente por coluna (Tabela A1).

Tabela A1: Valores de ponderação.

Coluna	Valores de ponderação				
1	53	33	25	16	6

Determinar o número máximo de valores de ponderação (m), por meio da Equação A1.

$$m = 1 + \left(\frac{9}{x}\right) \cdot (100 - MVD) \quad A1$$

Sendo $x = 98$, baseado no valor de corte de 2 e $MVD =$ máximo valor de ponderação.

Deste modo, no exemplo, tem-se que:

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) \cdot (100 - 53) = 5,32$$

Sendo “m” maior que o número de valores dedutíveis ($q = 5$), não há necessidade de descartar qualquer valor.

Seguindo-se a isso, colocar as demais linhas na Tabela A1, substituindo-se os menores valores por 2 ($= 100 - x$) (Tabela A2).

Tabela A2: Escalonamento dos valores de ponderação.

Coluna	Valores de ponderação				
1	53	33	25	16	6
2	53	33	25	16	2
3	53	33	25	2	2
4	53	33	2	2	2
5	53	2	2	2	2

O passo seguinte é a determinação de cada Valor Total de Ponderação (VTP), que é a soma dos valores de ponderação individuais em cada linha. Analisando-se conjuntamente o “VTP”, “q” e a Curva de Correção (Figura 5.26), é possível encontrar o Valor Corrigido de Ponderação (VCP). No exemplo, os valores são apresentados na Tabela A3.

Tabela A3. Valores Totais de Ponderação e Valores Corrigidos de Ponderação.

Coluna	Valores de ponderação					VTP	q	VCP
1	53	33	25	16	6	133	5	52
2	53	33	25	16	2	129	4	56
3	53	33	25	2	2	115	3	58
4	53	33	2	2	2	92	2	58
5	53	2	2	2	2	61	1	61

O valor do Índice de condição estrutural do grupo “Trilhos, Juntas e Acessórios” (ICET) é dado pela Equação A2.

$$ICET = 100 - VCP_{m\acute{a}x}$$

A2

Sendo $VCP_{m\acute{a}x}$ o maior valor encontrado entre os Valores Corrigidos de Ponderação. Assim, a Equação A2 assume os valores:

$$ICET = 100 - 61 = 49$$

De acordo com a escala proposta (Figura 5.32), a condição estrutural do grupo “Trilhos, Juntas e Acessórios” é “Regular”. A Tabela 5.47 indica “Manutenção Corretiva” como intervenção; o que, segundo a Figura 5.33, deve ser: “Substituir e aproximar trilho, Substituir tala, Repor parafusos”.

Considerando-se que o grupo de defeitos “Dormentes” apresente um ICED de 66, considerado “Bom” (Figura 5.32), recomendado “Manutenção Preventiva (Tabela 5.47)” e intervenções do tipo “Reenquadrar e/ou Repor até 1 unidade, Substituir até 2 unidades” (Figura 5.33), considerando-se, ainda, que o grupo de defeitos “Lastro” apresente um ICEL de 45, considerado “Bom” (Figura 5.32), recomendado “Manutenção Corretiva” (Tabela 5.47) e intervenções do tipo “Limpeza, Socar, Regular” (Figura 5.33), é possível calcular o valor de ICEG por intermédio da Equação 5.11.

$$ICEG = 0,50 \cdot (45) + 0,35 \cdot (49) - 0,15 \cdot (66) \cong 40$$

O valor de ICEG de aproximadamente 40 indica que a qualidade estrutural da via é “Regular” e que Manutenções Corretivas devem ser agendadas o mais rápido possível.

A PÊNDICE A

TERMO DE CONFIDENCIALIDADE

TERMO DE CONFIDENCIALIDADE

JESNER SERENI ILDEFONSO, brasileiro, portador do RG nº. [REDACTED] inscrito no CPF sob nº. [REDACTED], residente e domiciliado na Rua São João, 81, Apto 702, Zona 7, Maringá/PR, CEP 87030-200, doravante designado apenas "RECEPTOR", vem prestar o que segue:

CONSIDERANDO QUE:

- (i) O RECEPTOR, em razão da tese de doutorado que está desenvolvendo relacionada à manutenção da via férrea, necessita de acesso ao banco de dados disponível acerca da condição da ferrovia sob concessão da ALL – AMÉRICA LATINA LOGÍSTICA S/A, pessoa jurídica de direito privado, inscrita no CNPJ nº. 02.387.241/0001-60, estabelecida na Rua Emílio Bertolini, 100, Vila Oficinas, em Curitiba/PR, CEP 82920-030;
- (ii) para a realização da pesquisa, o RECEPTOR tomará conhecimento de dados sigilosos referentes aos negócios e atividades da ALL;

Resolve o Receptor firmar o presente Termo de Confidencialidade ("Termo") que será regido pelos seguintes artigos e condições:

DAS INFORMAÇÕES CONFIDENCIAIS:

1. Constitui objeto do presente instrumento o sigilo absoluto e a proteção às Informações Confidenciais trocadas entre as partes, consistentes nos dados comerciais, industriais, fiscais, jurídicos, processuais, patrimoniais e quaisquer outros, considerando-se todas as formas de apresentação, seja escrita, verbal, telefônica, visual, digital, eletrônica ou qualquer outra que atinja o fim de transmitir informação.
2. O presente Termo de Confidencialidade visa assegurar a inviolabilidade das Informações Confidenciais, que são de interesse restrito das partes.
3. A partir da assinatura do presente instrumento, o RECEPTOR fica automaticamente obrigado a guardar sigilo absoluto dos dados e informações obtidas, nos termos previstos neste contrato.

3.1. Além da obrigação de guardar sigilo absoluto dos dados e informações obtidas, o RECEPTOR deverá cuidar para que as mesmas não sejam divulgadas, extraviadas, deletadas, violadas, alteradas e/ou acessadas por terceiros, tampouco permitir que tais informações confidenciais sejam utilizadas indevidamente, por terceiros estranhos a este Termo ou em atividades diversas que não as aqui previstas;

3.2. O RECEPTOR obriga-se a não tomar qualquer medida que vise obter para si ou para outrem os direitos de propriedade industrial e segredos profissionais que venham a ser transmitidos;

3.3 O RECEPTOR compromete-se a comunicar os termos e condições deste contrato a seus empregados, subcontratados ou prepostos que tiverem acesso às Informações Confidenciais, sendo solidária a responsabilidade, mas não eximindo nem diminuindo a da parte signatária deste instrumento;

3.4. O RECEPTOR das Informações Confidenciais adotará as mesmas medidas de proteção que daria aos seus próprios dados e informações confidenciais, objetivando manter o sigilo das mesmas;

3.5 O RECEPTOR concorda em limitar o acesso à Informação Confidencial somente (e tão-somente) àquelas pessoas que tenham necessidade de ter conhecimento de tais Informações Confidenciais, limitado ademais a um número restrito de administradores, empregados, consultores e/ou assessores que, dentro do razoável, requisitem tais informações;

3.6 O RECEPTOR concorda em limitar o número de cópias das Informações Confidenciais eventualmente a ela divulgadas ao número necessário para o cumprimento dos objetivos previstos neste Acordo;

4. O presente instrumento é pactuado sem prazo determinado, sendo também irretratável e irrenunciável, não podendo ser denunciado pelo RECEPTOR, pois permanecem em vigor todas as condições aqui estipuladas, sendo que a obrigação das partes em guardar sigilo dos dados e das Informações Confidenciais inicia-se a partir da tomada de conhecimento daquelas.

5. O descumprimento de quaisquer das cláusulas deste Termo, principalmente com relação à perda, alteração ou violação de qualquer informação, implicará na responsabilização civil e criminal do RECEPTOR, bem como na multa fixa e irredutível de R\$ 500.000,00 (quinhentos mil reais) em favor da ALL, sem prejuízo da indenização das eventuais perdas e danos apuradas.
6. Os herdeiros e sucessores das partes signatárias deste instrumento se obrigam por todas as suas cláusulas e condições.
7. O presente Termo se aplica a todas as empresas do Grupo ALL.
8. Este Termo deverá ser interpretado e regido em conformidade com as leis do Brasil. O RECEPTOR elege o foro da comarca de Curitiba como o único competente para a dirimir as dúvidas oriundas deste instrumento, com a renúncia de qualquer outro, por mais privilegiado que seja.

Curitiba/PR, 2 de julho de 2012.

JESNER SERENILDEFONSO

Testemunhas:

Nome: Daniel Fabre Afonso
RG:
CPF:
Nome: Flavio Alberto Keyiti Balheiro
RG:
CPF: