ANA LUISA MARTINS TORRES

**ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DE TRAÇADO DE UMA RODOVIA DE
MÚLTIPLAS FAIXAS**

São Paulo

2015

ANA LUISA MARTINS TORRES

**ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DE TRAÇADO DE UMA RODOVIA DE
MÚLTIPLAS FAIXAS**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

São Paulo

2015

ANA LUISA MARTINS TORRES

**ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DE TRAÇADO DE UMA RODOVIA DE
MÚLTIPLAS FAIXAS**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Área de Concentração: Informações
Espaciais

Orientador: Prof^a. Dr^a. Ana Paula
Camargo Larocca

São Paulo
2015

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Torres, Ana Luisa Martins

Análise de consistência de traçado de uma rodovia de múltiplas faixas /
A. L. M. Torres -- versão corr. -- São Paulo, 2015.
149 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

1.Consistência de traçado 2.Velocidade operacional 3.Acidentes
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de
Engenharia de Transportes II.t.

Dedico este trabalho a meus pais e avós.

AGRADECIMENTOS

À Professora Ana Paula Camargo Larocca, pela orientação e constante estímulo durante todo o trabalho.

Aos Professores Felipe Issa Kabbach Jr e José Reynaldo Setti, que contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa com seus comentários no exame de Qualificação.

À Autopista Régis Bittencourt e Arteris, pelo apoio em campo e pelo fornecimento de dados necessários.

À VETEC Engenharia, pelo apoio e empréstimo do equipamento de medição de velocidade.

Aos colegas Aurenice da Cruz Figueira e Miguel Andrés Castillo, pela colaboração no desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

O número de acidentes de trânsito é crescente nas últimas décadas no Brasil. Uma das principais causas de acidentes em rodovias brasileiras é o excesso de velocidade, que contribui para a possibilidade de ocorrência de acidentes. As velocidades praticadas pelos motoristas são também função dos elementos geométricos que compõem a via (raio, rampa, largura da faixa, etc). A consistência de traçado não afeta a expectativa dos motoristas e garante uma operação segura. A maioria dos motoristas consegue perceber as falhas de coordenação, mas tecnicamente, por exemplo, desconhecem a origem das mesmas. Esta pesquisa apresenta como objetivo a análise de consistência de um trecho de uma determinada rodovia do país de múltiplas faixas, com elevado índice de acidentes e alto fluxo de veículos comerciais. Os pontos com maior ocorrência de acidentes foram identificados e realizaram-se medições de velocidade para elaboração de um modelo de previsão de velocidade operacional (V_{85}) do trecho de estudo. De posse deste modelo, procedeu-se à análise de consistência através do método dos critérios de segurança, que identificou 2 seções com problemas de consistência. Por fim, verificou-se se estas seções correspondiam aos locais de maior número de acidentes: a tangente T5 precede uma curva com alto índice de acidentes (km 511+000); o local com maior concentração de acidentes (km 514) foi classificado como RAZOÁVEL.

Palavras-Chave: Consistência de projeto geométrico. Velocidade operacional. Acidentes.

ABSTRACT

In Brazil, the number of traffic accidents is increasing in recent decades, and speeding is one of the major causes of accidents on highways, which contributes to the possibility of accidents. The speed used by the driver is determined by the geometric elements of the road (radius, slope, lane width, etc). Geometric design consistency does not affect the expectation of drivers and ensures a safe operation. Most drivers can perceive coordination failures, but, technically, they are unaware of their source. This research aims to perform a consistency analysis of a stretch of a Brazilian multiple lane highway with a high rate of accidents and large number of commercial vehicles. Thus, the sections with a higher accident occurrence were identified, and speeds were measured to determine the operating speed (V_{85}) and, subsequently, to develop a model to predict operating speeds. With this model, the design consistency was analyzed using the method of the safety criteria. This analysis identified two sections with consistency problems. Finally, it was verified if these sections correspond to the sites with higher accident occurrence: tangent T5 precedes a curve with a high number of accidents (km 511+000); the site with higher accident occurrence (km 514) was classified as FAIR.

Keywords: Geometric design consistency. Operational speed. Accidents.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Curva de distribuição de frequência acumulada de velocidades com indicação da velocidade operacional (V_{85})	24
Figura 2.2 – Principais áreas da consistência de projeto geométrico.....	25
Figura 3.1 – Parâmetros para o cálculo do CCR.....	33
Figura 3.2 – Caso 1	36
Figura 3.3 – Caso 2.....	37
Figura 3.4 – Caso 3.....	38
Figura 3.5 – Modelos de previsão de velocidade operacional para rodovias de múltiplas faixas da categoria A.....	39
Figura 3.6 – Velocidade operacional em função do greide – França	40
Figura 3.7 – A influência do greide na velocidade operacional para vias de pista simples na Grécia.....	41
Figura 4.1 – Forças atuantes no veículo em uma curva horizontal sem e com superelevação	48
Figura 4.2 – Aplicação dos critérios de segurança.....	49
Figura 5.1 – Mapa de Localização	51
Figura 5.2 – Trecho de estudo	51
Figura 5.3 – Rodovia Régis Bittencourt (km 513).....	52
Figura 5.4 – Curvas e tangentes do trecho de estudo.....	53
Figura 5.5 – Porcentagem de acidentes por km.....	55
Figura 5.6 – Porcentagem de acidentes por tipo.....	56
Figura 5.7 - (a) Mangueiras fixadas no pavimento, (b) Road Side Unit e (c) equipamento conectado ao PC.	66
Figura 5.8 – Funcionário da concessionária interditando as faixas com cones.....	70
Figura 5.9 – Faixas esquerda e central interditadas.....	70
Figura 5.10 – Equipe instalando o equipamento	70
Figura 5.11 – Mangueiras fixadas no pavimento.....	71
Figura 5.12 – Velocidade operacional – km 509+400 (Conjunto 1).....	73
Figura 5.13 – Velocidade operacional – km 509+400 (Conjunto 2).....	73
Figura 5.14 – V_{85} observada x V_{85} calculada.....	76
Figura 5.15 – V_{85} observada x V_{85} calculada.....	77
Figura 5.16 – Classificação das seções segundo o critério de segurança I	88

Figura 5.17 – Classificação das seções segundo o critério de segurança II	88
Figura 5.18 – Classificação das seções segundo o critério de segurança III	89
Figura 5.19 – Classificação das seções após a análise de consistência	89
Figura 5.20 – Localização da tangente T5	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Definições de velocidade de projeto da AASHO/AASHTO	21
Tabela 2.2 - Velocidades diretrizes para novos traçados em função da classe de projeto e do relevo.....	22
Tabela 2.3 – Definições de Velocidade Operacional.....	23
Tabela 2.4 – Principais métodos de análise de consistência	26
Tabela 2.5 – Critérios de segurança do método proposto por Lamm et al. (1999)..	28
Tabela 3.1 - Modelos de regressão para a velocidade operacional para rodovias rurais de pista simples em diferentes países.....	34
Tabela 4.1 – Recomendações para os níveis de projeto do critério de segurança I	44
Tabela 4.2 – Recomendações para os níveis de projeto do critério de segurança II	45
Tabela 4.3 - Recomendações para os níveis de projeto do critério de segurança III	47
Tabela 4.4 – Princípios de projeto para vias da categoria A	50
Tabela 5.1 – Características do trecho de estudo	54
Tabela 5.2 – Número de acidentes por km	56
Tabela 5.3 – Acidentes km 509	57
Tabela 5.4 – Acidentes km 510	57
Tabela 5.5 – Acidentes km 511	58
Tabela 5.6 – Acidentes km 512	58
Tabela 5.7 – Acidentes km 513	58
Tabela 5.8 – Acidentes km 514	59
Tabela 5.9 – Acidentes km 515	59
Tabela 5.10 – Acidentes km 516	59
Tabela 5.11 – Acidentes km 517	60
Tabela 5.12 – Acidentes km 518	60
Tabela 5.13 – Veículos Envolvidos – Ano 2011	61
Tabela 5.14 – Veículos Envolvidos – Ano 2012	63
Tabela 5.15 – Veículos Envolvidos – Ano 2013	64
Tabela 5.16 – Classificação ARX	67
Tabela 5.17 – Equivalência entre as classes ARX e as categorias do DNIT	68

Tabela 5.18 – Pontos para medição de velocidades.....	69
Tabela 5.19 – Quantidades de registros coletados	71
Tabela 5.20 – Separação dos dados em conjuntos	72
Tabela 5.21 – V_{85} observadas	74
Tabela 5.22 – CCRs, rampa e V_{85} para cada ponto de coleta	75
Tabela 5.23 – V_{85} calculadas e observadas	76
Tabela 5.24 – CCRs, rampa e V_{85} para cada elemento do trecho de estudo.....	77
Tabela 5.25 – Cálculo da V_d	79
Tabela 5.26 – Classificação de acordo com o critério de segurança I	80
Tabela 5.27 – Classificação de acordo com o critério de segurança II	82
Tabela 5.28 – Superelevação.....	83
Tabela 5.29 – Cálculo do fator de atrito lateral demandado	84
Tabela 5.30 – Classificação segundo o critério de segurança III	85
Tabela 5.31 – Combinação dos três critérios de segurança	86
Tabela 5.32 – Classificação de acordo com o módulo de segurança	87

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

AASHO	American Association of State Highway Officials
AASHTO	American Association Highway and Transportation Officials
CNT	Confederação Nacional dos Transportes
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FHWA	Federal Highway Administration
HSM	Highway Safety Manual
ICG	Índice de Consistência Geométrica
IHSDM	Interactive Highway Safety Design Model
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
VDM	Volume Médio Diário

LISTA DE SÍMBOLOS

a	aceleração
a_c	aceleração centrífuga
AG	greide de aproximação
AADT	volume diário médio
CCR	taxa de mudança de curvatura
DC	grau de curvatura
e	taxa de superelevação
FC	índice de curva
f_{RA}	fator de atrito assumido
f_{RD}	fator de atrito demandado
F_{ye}	força de atrito lateral da roda externa
F_{yi}	força de atrito lateral da roda interna
i	greide
LC	comprimento da curva
L_{CL}	comprimento da espiral de transição
L_{CR}	comprimento da curva circular
LW	largura da faixa de rolamento
M	massa
MT	tipo de canteiro
PC	ponto de curva
PT	ponto de tangente
R	raio da curva circular
ST	tipo de acostamento
SW	largura do acostamento
TL	comprimento da tangente
V_{85}	velocidade 85º percentil
V_d	velocidade de projeto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO DO TRABALHO	17
1.2	METODOLOGIA	17
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	20
2.1	VELOCIDADE DE PROJETO.....	20
2.2	VELOCIDADE OPERACIONAL.....	22
2.3	MÉTODOS DE ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DE PROJETO GEOMÉTRICO 24	
3	MODELOS DE PREVISÃO DE VELOCIDADES	31
3.1	VIAS DE PISTA SIMPLES.....	31
3.2	VIAS DE MÚLTIPLAS FAIXAS E OUTROS PARÂMETROS	39
4	ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA ATRAVÉS DO MÉTODO DE LAMM	43
4.1	CRITÉRIO DE SEGURANÇA I	43
4.2	CRITÉRIO DE SEGURANÇA II	44
4.3	CRITÉRIO DE SEGURANÇA III	45
4.4	APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE SEGURANÇA	48
4.5	APLICAÇÃO EM RODOVIAS DE MÚLTIPLAS FAIXAS.....	50
5	ESTUDO DE CASO.....	51
5.1	LOCALIZAÇÃO DO TRECHO DE ESTUDO	51
5.2	DADOS DE ACIDENTES.....	55
5.3	EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA MEDIÇÃO DE VELOCIDADE	66
5.4	PONTOS DE COLETA	68
5.5	MEDIÇÕES DE VELOCIDADE.....	69
5.6	VELOCIDADE OPERACIONAL.....	72

5.7	MODELO DE PREVISÃO DE VELOCIDADE OPERACIONAL	74
5.8	VALIDAÇÃO DO MODELO DE PREVISÃO DE VELOCIDADES	75
5.9	ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA	77
5.9.1	Determinação da Velocidade de Projeto	78
5.9.2	Critério de Segurança I	79
5.9.3	Critério de Segurança II	81
5.9.4	Critério de Segurança III	83
5.9.5	Resultados da Análise de Consistência	85
5.10	COMPARAÇÃO ENTRE OS LOCAIS DE ACIDENTES E SEÇÕES INCONSISTENTES	90
6	CONCLUSÕES	92
7	RECOMENDAÇÕES	95
	REFERÊNCIAS	96
	APÊNDICE A – DADOS DE CAMPO PARA CÁLCULO DA VELOCIDADE OPERACIONAL	101
	APÊNDICE B – CÁLCULO DA VELOCIDADE OPERACIONAL	139

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), os acidentes no trânsito são responsáveis pela morte de cerca de 1,3 milhão de pessoas a cada ano, o que corresponde à nona causa de mortes no mundo, e ferem aproximadamente 50 milhões de pessoas por ano (FERRAZ et al., 2012). A grande maioria dessas mortes ocorre nas rodovias, devido à violência dos acidentes. Devido ao crescente número de vítimas do trânsito e com base em estudos realizados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), a Assembleia Geral da ONU estabeleceu a Década de Ações para a Segurança Viária, referente ao período de 2011-2020, na qual os governos de diversos países se comprometem a adotar medidas para prevenir os acidentes.

No Brasil, país que ocupa a 5ª posição no ranking de mortes no trânsito, os Ministérios da Saúde e das Cidades lançaram em 2011 o Pacto Nacional pela Redução dos Acidentes no Trânsito – Pacto pela Vida, cujo principal objetivo é a elaboração do Plano Nacional de Redução de Acidentes e Segurança Viária para a Década 2011-2020 (DENATRAN, 2011). Tal plano ficou a cargo do Comitê Nacional de Mobilização pela Saúde, Segurança e Paz no Trânsito, instituído por Decreto Presidencial de setembro de 2007. De acordo com a Pesquisa CNT de Rodovias 2013, mais de 60% do transporte de cargas e 90% da movimentação de passageiros ocorrem pelas rodovias. Assim, a preocupação com a qualidade da infraestrutura no país torna-se imprescindível.

O excesso de velocidade é um dos principais problemas de segurança viária em diversos os países. Velocidades maiores aumentam a probabilidade de ocorrência de acidentes, assim como a severidade das consequências desses eventos (FHWA, 2007).

Uma das tarefas mais importantes na promoção da segurança no trânsito é a investigação da relação entre acidentes com veículos motorizados e as características geométricas das rodovias (PENG; GEEDIPALLY; LORD, 2012) que afetam as condições de segurança viária em diversas formas, tais como: habilidade do motorista em manter o controle do veículo e identificar situações e características perigosas; existência de oportunidades de conflitos, tanto em relação à quantidade quanto ao

tipo; consequências de uma saída de pista de um veículo desgovernado; e comportamento e atenção dos motoristas (NODARI, 2003). Desta forma, uma geometria inadequada pode ocasionar acidentes, uma vez que os elementos geométricos e de seção-transversal, em combinação com as características do tráfego e da área em que a via está inserida, estabelecem um ambiente no qual os condutores escolhem velocidades razoáveis e confortáveis (FHWA, 2007).

Khan et al. (2012) afirmam que as curvas podem diminuir a segurança aos usuários da via devido às mudanças na expectativa do condutor e movimentação do veículo e que a taxa média de acidentes para curvas horizontais é cerca de três vezes maior do que a taxa média de acidentes em tangentes. Acidentes em curvas perigosas estão normalmente associados à utilização de velocidades maiores do que as permitidas pelas condições geométricas da curva, ao estado de conservação do pavimento e/ou às baixas condições de visibilidade (CNT, 2013, p. 55). A obediência dos condutores ao limite de velocidade está relacionada à sua percepção de razoabilidade do limite de velocidade (GONÇALVES, 2011). Além disso, a redução de velocidade em uma curva horizontal apresenta uma forte relação com a frequência de acidentes (FITZPATRICK et al. 2000a), e, quanto maior essa redução, maior será a probabilidade de erro do condutor e a ocorrência de acidentes, como colisão, derrapagem e saída de pista (DE SOUZA, 2012).

Em 2010, a AASHTO lançou o *Highway Safety Manual* (HSM), que proporciona aos profissionais da área de transportes técnicas e metodologias para identificar e avaliar medidas para reduzir a severidade e a frequência de acidentes, assim como para estimar frequências futuras de acidentes.

A China, primeiro país no ranking de mortes no trânsito, já aplica as técnicas propostas no HSM (CHENGCHENG; JIANJUN, 2013), enquanto no Brasil poucas iniciativas acadêmicas têm sido registradas (SILVA, 2011, CUNTO, 2015).

Nesse contexto, surge o conceito de consistência de traçado, ou seja, quando a geometria da via é compatível com a expectativa dos motoristas, garantindo uma operação segura. Problemas de consistência podem ser identificados através de

variações na velocidade de operação, alterações bruscas nas trajetórias de veículos e altos índices de acidentes em determinados segmentos (TRENTIN, 2007).

Diversos autores realizaram estudos de consistência de traçado em diferentes países: Leisch e Leisch (1977) *apud* Fitzpatrick et al. (2000b), Krammes et al. (1995), McLean *apud* Fitzpatrick et al. (2000b), Lamm et al. (1999), Fitzpatrick et al. (2000b), Trentin (2007), Garcia (2008). Recentemente, pesquisas utilizaram simuladores de direção para a análise de consistência (XING; HUASEN; GUO, 2007 e BELLA; D'AGOSTINI, 2010). O uso de ferramentas de visualização em 3D e de simuladores ajuda a evitar combinações geométricas que possam causar efeitos indesejáveis e reduzir a segurança. Além disso, os simuladores permitem a realização de diversos testes que não poderiam ser realizados em campo, pois afetariam a segurança dos demais usuários da via (RABAY et al., 2013).

Portanto, é necessário investigar as possíveis causas destes acidentes e tentar propor alternativas que contribuam para uma redução dos mesmos, tanto do ponto de vista de projeto de infraestrutura quanto a questão de mudanças de comportamento dos condutores.

1.1 OBJETIVO DO TRABALHO

Este trabalho tem como objetivo analisar a consistência de projeto geométrico de um trecho de uma rodovia do país de múltiplas faixas com alto índice de acidentes e elevada frequência de veículos comerciais. O trecho apresenta 10 km de extensão, raios pequenos e greides elevados (região de serra). O método utilizado foi o método dos critérios de segurança desenvolvido por Lamm et al. (1999). Além disso, nas seções com problemas de consistência, verificou-se se estes locais correspondem àqueles com maior número de acidentes.

1.2 METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa consiste em um estudo de caso, em que será analisado um trecho de 10 km de extensão de uma rodovia brasileira de múltiplas faixas com alto índice de acidentes, para verificação de consistência de traçado da via.

Em uma primeira fase foram analisados os registros de acidentes do trecho de estudo, determinando os locais com maior índice de acidentes registrados. A concessionária responsável pela rodovia forneceu os dados anônimos e secundários dos acidentes ocorridos no trecho.

Na fase seguinte, foram identificadas as características geométricas do trecho: raios das curvas horizontais, largura da faixa, superelevações e rampas. O projeto geométrico inicial foi cedido pela concessionária e foi comparado com levantamento aerofotogramétrico atualizado.

Em função dos elementos obtidos, associaram-se os locais dos acidentes registrados e as características geométricas do trecho de estudo para determinar os pontos de medição de velocidade, com diferentes combinações de raios de curvatura horizontal e rampas de alinhamento vertical.

A partir das medições realizadas no trecho, os dados foram divididos em dois conjuntos: o Conjunto 1 foi utilizado para o desenvolvimento do modelo de previsão de velocidades operacionais, obtido através de uma regressão linear, e o conjunto 2, para a validação deste modelo. De posse deste modelo, foram calculadas as velocidades operacionais de cada elemento do trecho de estudo.

Em seguida, realizou-se uma análise da consistência geométrica do trecho em questão, através do método dos critérios de segurança desenvolvido por Lamm et al. (1999). Para cada segmento do trecho de estudo, foram verificados os três critérios de segurança para avaliar a existência ou não de locais com inconsistência de projeto.

Por fim, verificou-se se os pontos que apresentaram problemas de consistência coincidem com os locais com maior número de acidentes do trecho de estudo.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto por seis capítulos, conforme discriminado a seguir.

O Capítulo 1 apresenta uma introdução ao tema desenvolvido nesta dissertação, assim como os objetivos e metodologia propostos.

O Capítulo 2 consiste na revisão bibliográfica reunida para o embasamento teórico desta pesquisa, no que diz respeito à velocidade e à consistência de projeto.

O Capítulo 3 mostra os principais modelos de previsão de velocidades operacionais desenvolvidos ao longo do tempo.

O Capítulo 4 detalha o método dos critérios de segurança proposto por Lamm et al. (1999) para análise de consistência.

O Capítulo 5 contém o desenvolvimento do estudo de caso: detalhamento do trecho de estudo, análise dos dados de acidentes, medições de velocidade em campo, desenvolvimento do modelo de previsão de velocidade operacional, e os resultados da análise de consistência.

O Capítulo 6 apresenta as conclusões a respeito dos resultados obtidos.

O Capítulo 7 sugere recomendações para futuras pesquisas sobre velocidades operacionais, análise de consistência e acidentes.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A elaboração de um projeto geométrico, de modo geral, envolve etapas contidas em manuais e normas técnicas do país para definir as características básicas da via: capacidade de tráfego, número e largura de faixas de rolamento, largura de acostamento e velocidade de projeto, a partir da qual são estabelecidos os parâmetros de projeto como rampa máxima, raio mínimo, superelevação máxima, etc.

Dentre os elementos que compõem o projeto, a velocidade é um fator de extrema importância para a segurança viária. A geometria da via depende da velocidade escolhida pelos projetistas com base em recomendações e diretrizes existentes - *velocidade de projeto ou diretriz* - para determinar os parâmetros mínimos necessários que garantam uma operação segura. Entretanto, os motoristas escolhem a velocidade com a qual desejam conduzir o seu veículo - *velocidade operacional*, com base na combinação de elementos geométricos sucessivos e no ambiente ao redor. Em muitos casos, a velocidade operacional é incompatível com a diretriz, o que pode aumentar o risco de acidentes.

2.1 VELOCIDADE DE PROJETO

De acordo com Krammes et al. (1995), o conceito de velocidade de projeto ou diretriz surgiu na década de 1930 como resposta ao crescente número de acidentes em curvas horizontais. A maioria das rodovias da época foram construídas para veículos de tração animal, e as curvas existentes não eram seguras para as velocidades praticadas pelos veículos motorizados, que tornaram-se predominantes, aumentando a taxa de acidentes.

Inicialmente, Barnett (1936) *apud* Krammes et al. (1995) recomendou que a velocidade de projeto deveria ser “a máxima velocidade uniforme que seria adotada pelo grupo mais rápido de operadores de veículos, em áreas rurais”, o que serviu como base para o primeiro guia da AASHTO.

Este conceito sofreu diversas alterações ao longo do tempo, mas o fundamento permanece o mesmo: as características geométricas devem obedecer aos critérios para uma determinada velocidade de projeto (FITZPATRICK et al., 2003). A Tabela 2.1 apresenta as alterações na definição de velocidade de projeto no guia da AASHTO.

Tabela 2.1 - Definições de velocidade de projeto da AASHO/AASHTO

Autor	Ano	Definição de velocidade de projeto															
<i>A Policy on Highway Types (Geometric) AASHO</i>	1940	A velocidade de projeto adotada para uma rodovia é a máxima velocidade, aproximadamente uniforme, que provavelmente seria adotada pelo grupo de condutores mais rápidos, mas não necessariamente pela pequena porcentagem de condutores imprudentes. A velocidade de projeto adotada para uma rodovia deve considerar a topografia da região percorrida e justificar-se economicamente baseada nos volumes de tráfego, custo de implantação, características do tráfego e outros fatores pertinentes, como considerações estéticas.															
<i>A Policy on Design Standards AASHO</i>	1941	É a máxima velocidade, aproximadamente uniforme, que provavelmente seria adotada pelo grupo de motoristas mais rápidos, mas não necessariamente pela pequena porcentagem dos mais imprudentes. Definição das classes de velocidades de 30, 40, 50, 60 e 70 mph (48, 64, 80, 96 e 112 km/h, respectivamente). A velocidade de projeto para um trecho de rodovia será fixada principalmente em função do relevo da região. Também deverão ser consideradas as densidades de tráfego. Para uma mesma região, elevados volumes de tráfego justificariam a adoção de velocidades mais altas.															
<i>A Policy on Design Standards AASHO</i>	1945	Definição de velocidades de projeto mínimas e desejáveis para rodovias rurais (em função do relevo da área atravessada) e para trechos urbanos.															
		<table> <tr> <td>Rodovias Rurais</td><td>Mínimo</td><td>Desejável</td></tr> <tr> <td>Plano</td><td>96</td><td>112</td></tr> <tr> <td>Ondulado</td><td>80</td><td>96</td></tr> <tr> <td>Montanhoso</td><td>64</td><td>80</td></tr> <tr> <td>Trechos urbanos</td><td>64</td><td>80</td></tr> </table>	Rodovias Rurais	Mínimo	Desejável	Plano	96	112	Ondulado	80	96	Montanhoso	64	80	Trechos urbanos	64	80
Rodovias Rurais	Mínimo	Desejável															
Plano	96	112															
Ondulado	80	96															
Montanhoso	64	80															
Trechos urbanos	64	80															
<i>A Policy on Geometric Design of Rural Highways AASHO</i>	1954 e 1965	Velocidade de projeto é a velocidade utilizada para o projeto e sua relação com as características físicas da rodovia influenciam a operação dos veículos. É a máxima velocidade que pode ser mantida com segurança em um trecho específico de rodovia em condições favoráveis nas quais predominem as características de projeto da via.															
<i>A Policy on Design of urban Highways and Arterial Streets AASHO</i>	1973	É a máxima velocidade segura que pode ser mantida em determinado segmento de rodovia quando as condições são favoráveis, com predomínio das características de projeto da rodovia. A velocidade média da rodovia é a média ponderada das velocidades de projeto em um segmento de rodovia, considerando-se que cada subsegmento tem sua própria velocidade de projeto (para longas tangentes a máxima velocidade de projeto pode chegar a 112 km/h).															
<i>A Policy on Geometric Design of Highways and Streets AASHTO</i>	1984, 1990 e 1994	Velocidade de projeto é a máxima velocidade segura que pode ser mantida em determinado trecho de rodovia em condições favoráveis e com predomínio das características de projeto da rodovia. A velocidade de projeto adotada deve ser coerente com o relevo, o uso do solo e a classificação da rodovia.															
<i>A Policy on Geometric Design of Highways and Streets AASHTO</i>	2001, 2004 e 2011	Velocidade de projeto é a velocidade selecionada e utilizada para determinar várias características geométricas da via.															

Fonte: Notas de aula – Prof. Felipe Issa Kabbach Jr.

O Manual de Projeto Geométrico do DNER (DNER,1999), atual DNIT, define a velocidade de projeto como a “maior velocidade com que um trecho viário pode ser percorrido com segurança, quando o veículo estiver submetido apenas às limitações impostas pelas características geométricas”. Esta velocidade é função da classe de projeto da via e das características do relevo da região, conforme Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Velocidades diretrizes para novos traçados em função da classe de projeto e do relevo

Classe de projeto	Velocidades diretrizes para projeto (km/h)		
	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	120	100	80
Classe I	100	80	60
Classe II	100	70	50
Classe III	80	60	40
Classe IV	80-60	60-40	40-30

Fonte: DNER (1999)

A velocidade diretriz é aquela selecionada para fins de projeto, da qual derivam os valores mínimos das principais características físicas (curvatura, superelevação, distância de visibilidade) diretamente vinculadas à operação e ao movimento dos veículos.

2.2 VELOCIDADE OPERACIONAL

Apesar da sólida teoria, surgiram problemas com o conceito de velocidade de projeto. As dificuldades aparecem quando projetistas não consideram a via como um único elemento composto de diversas partes (condutor, geometria e entorno), e um colapso em alguma destas resulta em um alto potencial de acidentes (FITZPATRICK et al., 2003).

Para superar os problemas ocasionados pela adoção da velocidade de projeto, alguns países, como a Austrália, adotam a velocidade operacional para o projeto da via, já que as velocidades operacionais praticadas pelos condutores geralmente são superiores à velocidade de projeto.

A AASHTO define a velocidade operacional como a velocidade na qual observam-se os condutores operando seus veículos sob condições de fluxo livre, ou seja, quando a velocidade não é influenciada pelos demais veículos na via. Assim como a velocidade de projeto, a definição de velocidade operacional sofreu diversas alterações ao longo do tempo (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 – Definições de Velocidade Operacional

Autor	Ano	Definição de velocidade operacional
<i>HCM</i>	1950	É a maior velocidade média (excluindo-se as paradas) mantida com segurança pelo motorista. É o índice mais significativo de congestionamento para diferentes volumes de tráfego.
<i>Matson et al.</i>	1955	É a maior velocidade média (excluindo-se as paradas) mantida com segurança pelo motorista ao percorrer certo segmento de rodovia sob determinadas condições predominantes. É igual à velocidade de projeto quando as condições atmosféricas, da superfície do pavimento e outras são as ideais e os volumes de tráfego são baixos.
<i>HCM</i>	1965	É a mais elevada velocidade média na qual um motorista pode percorrer uma rodovia sob determinadas condições de tráfego, sem exceder em qualquer momento a velocidade segura definida pela velocidade de projeto entre segmentos.
<i>AASHTO</i>	1973	É a mais elevada velocidade média com a qual um motorista pode percorrer uma rodovia sob condições favoráveis de tempo e predominantes de tráfego, sem exceder a velocidade segura definida seção a seção utilizada para projeto.
<i>Glossary of Transportation Terms</i>	1994	É mais elevada e segura velocidade na qual um veículo normalmente opera em uma determinada rodovia sob determinadas condições predominantes de tráfego e ambientais. Também denominada velocidade de percurso.
<i>AASHTO</i>	1990, 1994	É a mais elevada velocidade média com a qual um motorista pode percorrer uma rodovia sob condições favoráveis de tempo e predominantes de tráfego, trecho a trecho e utilizada na elaboração do projeto.
<i>Fitzpatrick et al.</i>	1995	É aquela praticada pelos motoristas. O 85º percentil da distribuição de velocidades observadas é o mais frequentemente utilizado para definir a velocidade de operação associada a um local específico ou parâmetro de geometria.
<i>TRB Special Report 254</i>	1998	É aquela selecionada pelos motoristas em situação de fluxo livre em determinado trecho de rodovia.
<i>AASHTO Green Book</i>	2001	É a velocidade praticada pelos motoristas em condições de fluxo livre. A medida utilizada com maior frequência para a velocidade de operação é o 85º percentil da distribuição de velocidades associado a uma localização específica ou característica geométrica.

Fonte: Notas de aula – Prof. Felipe Issa Kabbach Jr.

Frequentemente, a velocidade operacional é representada pelo 85º percentil da distribuição de velocidades observadas, obtido a partir da curva de distribuição de frequência acumulada, conforme Figura 2.1.

Figura 2.1 – Curva de distribuição de frequência acumulada de velocidades com indicação da velocidade operacional (V_{85})
Fonte: DER (2006)

O 85º percentil possui uma relação profunda com a questão da segurança. Estudos demonstram que motoristas dirigindo a velocidades superiores ao 85º percentil apresentam maior envolvimento em acidentes do que aqueles que conduzem com velocidades até deste valor (DER, 2006).

Para determinação do perfil de velocidades, é necessária a realização de medições de velocidade em campo. Os locais escolhidos para a coleta devem estar livres de elementos que possam influenciar a velocidade dos condutores, tais como radares, acessos à outras vias, interseções, chuva, neblina, entre outros. Além disso, o fluxo de tráfego deve estar normalizado.

As principais aplicações da velocidade operacional são estudos para a definição da velocidade limite e análise da consistência de projeto geométrico.

2.3 METÓDOS DE ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DE PROJETO GEOMÉTRICO

Uma das principais causas para a ocorrência de acidentes pode ser a falta de consistência no projeto geométrico da via, que está diretamente relacionada com a

segurança de tráfego (FITZPATRICK et al., 2003). A consistência do alinhamento é um elemento chave no projeto geométrico de rodovias moderno (LAMM et al., 1996).

A consistência de projeto é definida como a condição na qual a geometria da via não afeta a expectativa dos motoristas e garante uma operação segura (MCFADDEN; ELEFTERIADOU, 2007). Além disso, um projeto consistente assegura que elementos geométricos sucessivos atuem de modo coordenado (por exemplo, uma sequência de curvas sem variação abrupta entre raios de curvas sucessivas), sem surpreender os condutores (GIBREEL et al., 1999). A Figura 2.2 ilustra as áreas de consistência de projeto geométrico.

Figura 2.2 – Principais áreas da consistência de projeto geométrico
Fonte: Gibreel et al. (1999)

A maioria das pesquisas identificou medidas quantitativas para avaliação da consistência de projeto. Tais medidas podem ser divididas em quatro categorias principais: velocidade operacional, estabilidade do veículo, índices do alinhamento e carga de trabalho do motorista (NG; SAYED, 2004). A velocidade operacional é o indicador mais visível de inconsistências pois quando o projeto fere a expectativa do condutor, este tende a reduzir a velocidade do veículo, gerando grandes variações de velocidade. Curvas com fatores de atrito lateral insuficientes afetam a estabilidade dos

veículos, que podem derrapar e capotar. Apesar de bons indicadores, estes dois fatores são sintomas ao invés de causas, visto que são as características geométricas (índices do alinhamento) que geram as inconsistências. A utilização da carga de trabalho do motorista (tempo no qual os condutores devem executar a uma tarefa) é mais limitada devido à sua natureza subjetiva.

Os principais métodos de análise de consistência são baseados nas características geométricas da via, através do perfil de velocidades proporcionadas pelo traçado e da análise dos tempos de respostas dos motoristas às mudanças no traçado (TRENTIN, 2007).

Os primeiros estudos utilizando o perfil de velocidades para as análises de consistência surgiram na Suíça; entretanto, os principais métodos foram elaborados na Alemanha e Estados Unidos por Leisch e Leisch (1977), Lamm et al. (1988), Krammes et al. (1995), e Fitzpatrick et al. (2000b) (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 – Principais métodos de análise de consistência

Ano	Autor	Método
1977	Leisch e Leisch	-
1980	McLean	Método da AUSTROADS
1995	Krammes et al.	-
1998	Lamm et al.	Método dos critérios de segurança
2000	Fitzpatrick et al.	Método do IHSDM (FHWA)

O procedimento suíço identifica diferenças de velocidade entre elementos geométricos sucessivos para detectar inconsistências no projeto. Para um alinhamento horizontal ser considerado consistente, o perfil de velocidades deve obedecer às três condições seguintes:

1. A máxima diferença de velocidade entre uma curva e a tangente ou curva de grande raio precedente é 5 km/h;
2. A máxima diferença de velocidade em curvas sucessivas é 10 km/h e qualquer diferença superior a 20 km/h deve ser evitada;

3. A distância de visibilidade não deve ser menor que o comprimento necessário para mudanças de velocidade a uma taxa de $0,8 \text{ m/s}^2$ entre curvas sucessivas.

Quando algum local não atende às condições acima e possui alto índice de acidentes, este deverá ser corrigido.

Na década de 70, Leisch e Leisch (1977) *apud* Fitzpatrick (2000b) identificaram dois problemas com relação ao conceito de velocidade de projeto: a variação na velocidade operacional quando a velocidade diretriz era inferior a 90 km/h e a diferença de velocidades entre carros de passeio e caminhões. Para solucionar esses problemas, os autores sugeriram uma modificação no conceito de velocidade de projeto para incluir a “regra dos 15 km/h”, ou seja, a diferença entre as velocidades operacional e de projeto não deve exceder 15 km/h e a diferença entre as velocidades operacionais de carros de passeio e caminhões deve ser restringida a 15 km/h (GIBREEL et al., 1999). Caso estes princípios sejam violados, o trecho de alinhamento é considerado inconsistente e deve ser modificado.

Na Austrália, McLean *apud* Fitzpatrick (2000b) também concluiu que, para velocidades de projeto inferiores a 90 km/h, a velocidade operacional tende a ser superior à mesma, resultado confirmado por Krammes et al. (1995) através de estudos realizados nos Estados Unidos. Com base nestes estudos, a Austrália modificou os procedimentos de projeto e passou a utilizar a V_{85} como velocidade de projeto.

Lamm et al. (1999) desenvolveram um modelo de previsão de velocidade operacional em função da taxa de mudança de curvatura (CCR). Este método é conhecido como método dos critérios de segurança pois utiliza três critérios para a análise de consistência, (i) diferença entre a velocidade operacional (V_{85}) e a velocidade diretriz (V_d) em cada elemento da via; (ii) diferença entre as velocidades operacionais em elementos planimétricos sucessivos do alinhamento (curva-curva, tangente-curva); e (iii) diferença entre o coeficiente de atrito lateral assumido (f_{RA}) e demandado (f_{RD}) na superelevação, conforme Tabela 2.5. Este método será melhor detalhado no Capítulo 4.

Tabela 2.5 – Critérios de segurança do método proposto por Lamm et al. (1999)

	Critério	Projeto Bom	Projeto Razoável	Projeto Ruim
I	comparação em cada elemento	$ V_{85} - V_d \leq 10 \text{ km/h}$	$10 < V_{85} - V_d \leq 20 \text{ km/h}$	$ V_{85} - V_d > 20 \text{ km/h}$
II	comparação em elementos sucessivos	$ V_{85i} - V_{85i+1} \leq 10 \text{ km/h}$	$10 < V_{85i} - V_{85i+1} \leq 20 \text{ km/h}$	$ V_{85i} - V_{85i+1} > 20 \text{ km/h}$
III	aspectos dinâmicos do traçado	$f_{RA} - f_{RD} \geq 0,01$	$-0,04 \leq f_{RA} - f_{RD} < 0,01$	$f_{RA} - f_{RD} < -0,04$

Baseando-se no método de Lamm et al. (1999), Fitzpatrick et al. (2000) elaboraram um modelo de previsão de velocidade operacional para diversas condições de alinhamento horizontal e vertical, analisando a consistência através das diferenças entre as velocidades operacional e de projeto, e nas velocidades operacionais entre a tangente e a sucessiva curva no alinhamento. Este método é utilizado no programa IHSDM – Interactive Highway Safety Design Model do Federal Highway Administration (FHWA).

O IHSDM é uma ferramenta de análise para avaliar a segurança e os efeitos operacionais do projeto geométrico no processo de desenvolvimento do projeto da rodovia. Apresenta os seguintes módulos de análise:

- Policy Review Module (PRM) – verifica se o projeto está de acordo com as diretrizes da AASHTO;
- Crash Prediction Module (CPM) – estima a severidade e a frequência de acidentes;
- Design Consistency Module (DCM) – estima a velocidade operacional e avalia a consistência;
- Intersection Review Module (IRM) – revisa os elementos de projeto de interseção em relação à segurança e à performance operacional;
- Traffic Analysis Module (TAM) – estima medidas de operações de tráfego
- Driver/Vehicle Module (DVM) – simula o comportamento do motorista e a dinâmica do veículo.

Com exceção do módulo de previsão de acidentes (CPM), todos os módulos são aplicados apenas para rodovias de pista simples.

Mais recentemente, Polus et al. (2004) desenvolveram um método que considera o perfil de velocidades completo para avaliar segmentos viários mais longos, baseado na diferença entre as velocidades operacionais e a velocidade operacional média do segmento, e no desvio padrão das velocidades no segmento estudado. Os autores propuseram o índice de consistência C para classificar o segmento em bom ($C > 2$), aceitável ($1 < C \leq 2$) e pobre ($C \leq 1$).

Camacho et al. (2012) apresentaram uma nova metodologia para avaliar a segurança viária com base na análise de consistência de projeto geométrico da via. O modelo de consistência foi obtido através da análise da relação entre modelos de previsão de velocidades operacionais e dados de acidentes de rodovias de pista simples da Espanha.

No Brasil, Trentin (2007) comparou o método de Lamm et al. (1999), utilizando uma equação de previsão de velocidade desenvolvida a partir de pesquisas de velocidade em rodovias de pista simples, com o método de Fitzpatrick et al. (2000) presente no IHSDM. O autor verificou que, para raios superiores a 100 m, as velocidades são semelhantes às obtidas com a equação de Fitzpatrick et al. (2000), e, para raios inferiores a 100 m, as velocidades estão próximas às obtidas pelo modelo de Lamm et al. (1999).

Garcia (2008) desenvolveu um método para análise de consistência geométrica de rodovias brasileiras de pista simples, utilizando modelos próprios para estimar a V_{85} e critérios de aplicação de taxas de aceleração e desaceleração. Este método propõe o uso do Índice de Consistência Geométrica (ICG), que varia de 0 (situação mais desfavorável) a 100 (situação mais favorável), classificando as rodovias por quilômetro e por trecho em projeto bom ($ICG > 80$), projeto regular ($51 \leq ICG \leq 80$) e projeto fraco ($ICG \leq 50$).

Os trabalhos mencionados anteriormente foram desenvolvidos para rodovias de pista simples. Como as rodovias de múltiplas faixas possuem alinhamentos “mais

generosos”, alguns autores afirmam que as mudanças de velocidade não são sensíveis às condições geométricas. Existem poucos modelos de previsão de velocidade operacional para rodovias de múltiplas faixas, e estes apresentam baixo poder de previsão (KIM; CHOI, 2013).

Kim e Choi (2013) superaram esse problema e apresentaram modelos de previsão de velocidade operacional baseados em condições geométricas precedentes, através de dados de velocidade em diversas rodovias de múltiplas faixas da Coréia do Sul. Na China, Wang, Xu e Bai (2013) analisaram a consistência de rodovias de múltiplas faixas chinesas e verificaram que uma inconsistência pode ser identificada de modo mais eficiente quando há uma grande taxa de mudança nos elementos do alinhamento para um segmento sucessivo.

Dentre os métodos de avaliação de consistência apresentados a presente pesquisa optou por utilizar o método dos critérios de segurança de Lamm, por ser um dos métodos mais usados mundialmente, e por permitir a possibilidade de avaliação de rodovias de múltiplas faixas, conforme será detalhado no Capítulo 4.

3 MODELOS DE PREVISÃO DE VELOCIDADES

Neste capítulo serão discutidos os principais modelos de previsão de velocidades desenvolvidos ao longo do tempo, como o proposto por Lamm et al. (1999). Também serão apresentados modelos para rodovias de múltiplas faixas.

3.1 VIAS DE PISTA SIMPLES

Lamm et al. (1999) realizaram medições em 261 curvas no Estado de Nova York no final da década de 1980. Estes locais estavam livres da influência de interseções e de outros fatores que pudessem aumentar o risco de acidentes (chuva, neblina, obstáculos, etc.), greides inferiores ou iguais a 5 ou 6% e Volume Diário Médio Anual entre 10.000 e 12.000 veículos/dia.

Para cada local, foram obtidos diversos parâmetros: grau de curvatura, comprimento da curva, superelevação, declividade longitudinal, distância de visibilidade, largura da faixa de rolamento, volume diário médio (VDM), dados de velocidade e de acidentes.

Com base nestes dados, avaliaram-se os efeitos destes parâmetros através de uma regressão múltipla linear e obteve-se a Equação (3.1):

$$V_{85} = 55,52 - 1,61(DC) + 10,92(LW) + 0,91(SW) + 0,00064(AADT) \quad (3.1)$$

$$R^2 = 0,842$$

onde:

V_{85} = estimativa da velocidade operacional [km/h]

DC = grau de curvatura [0 a 27°]

LW = largura da faixa de rolamento [m]

SW = largura do acostamento [m]

AADT = volume diário médio [veículos/dia]

A Equação (3.1) apresenta um alto R^2 . Porém, o grau de curvatura (DC) possui maior influência na variação da velocidade operacional. Dessa forma, a equação pode ser reduzida para:

$$\begin{aligned} V_{85} &= 93,85 - 1,816(DC) \\ R^2 &= 0,787 \end{aligned} \quad (3.2)$$

Mais recentemente, Ottensen e Krammes (1994) realizaram medições de velocidade em diversas cidades dos Estados Unidos e determinaram a seguinte equação para previsão da velocidade operacional:

$$\begin{aligned} V_{85} &= 103,04 - 1,94(DC) \\ R^2 &= 0,80 \end{aligned} \quad (3.3)$$

Entretanto, o grau de curvatura (DC) não considera as curvas de transição que antecedem e sucedem a curva circular, o que pode ser uma desvantagem na utilização deste parâmetro para prever velocidades operacionais. Lamm et al. (1999) utilizaram a taxa de mudança de curvatura (CCR) para o desenvolvimento do modelo de previsão de velocidades. Tal parâmetro é definido como a soma absoluta das mudanças angulares por unidade de comprimento de um trecho da via, conforme Equação (3.4).

$$CCR = \frac{\sum \gamma_i}{L} \quad (3.4)$$

onde:

CCR = taxa de mudança de curvatura [gon¹/km]

γ_i = deflexão na curva i [gon]

L = comprimento da curva [km]

Para uma curva circular simples (Equação (3.5) e Figura 3.1):

$$CCR_s = \frac{\left(\frac{L_{CL1}}{2R} + \frac{L_{CR}}{R} + \frac{L_{CL2}}{2R} \right) \times 63700}{L} \quad (3.5)$$

¹ Gon é o símbolo de grado, uma unidade de medida de ângulos planos equivalente a 0,9 do grau.

onde:

CCR_s = taxa de mudança de curvatura de uma curva circular com curvas de transição [gon/km]

$L = L_{CL1} + L_{CR} + L_{CL2}$ = comprimento da curva [km]

L_{CR} = comprimento da curva circular [m]

R = raio da curva [m]

L_{CL1}, L_{CL2} = comprimentos das clotóides (antes e após a curva circular) [m]

$63700 = 200/\pi \times 10^3$

Figura 3.1 – Parâmetros para o cálculo do CCR

A relação entre o DC e o CCR é dada por:

$$CCR[\text{gon/km}] = 11,13 DC[^\circ/100\text{m}] \quad (3.6)$$

Assim, a equação de previsão da velocidade operacional resulta:

$$V_{85} = 93,85 - 0,05(CCR) \quad (3.7)$$

$$R^2 = 0,79$$

Diversos países desenvolveram modelos de previsão da velocidade operacional utilizando como parâmetro o DC e o CCR, conforme Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Modelos de regressão para a velocidade operacional para rodovias rurais de pista simples em diferentes países

Alemanha, ISE		
$V_{85} = \frac{10^6}{8270 + 8,01CCR_S}$	$R^2 = 0,73$	limite de velocidade = 100 km/h
Grécia		
$V_{85} = \frac{10^6}{10150,1 + 8,529CCR_S}$	$R^2 = 0,81$	limite de velocidade = 90 km/h
EUA - Nova York		
$V_{85} = 93,85 - 0,05CCR_S$	$R^2 = 0,79$	limite de velocidade = 90 km/h
EUA		
$V_{85} = 103,04 - 0,053CCR_S$	$R^2 = 0,80$	limite de velocidade = 90 km/h
França		
$V_{85} = \frac{102}{1 + 346(CCR_S/63700)^{1,5}}$		limite de velocidade = 90 km/h
Austrália		
$V_{85} = 101,2 - 0,043CCR_S$	$R^2 = 0,87$	limite de velocidade = 90 km/h
Líbano		
$V_{85} = 91,03 - 0,056CCR_S$	$R^2 = 0,81$	limite de velocidade = 80 km/h
Canadá		
$V_{85} = e^{4,561 - 0,000527CCR_S}$	$R^2 = 0,63$	limite de velocidade = 90 km/h

Fonte: Adaptado de Lamm et al. (1999)

No método de Lamm, as tangentes ($R = \infty$ e $CCR_s = 0$ gon/km) são abordadas como elementos dinâmicos, levando-se em consideração a aceleração e a desaceleração longitudinais.

As tangentes podem ser classificadas em independentes e não-independentes. As tangentes independentes são longas o suficiente para permitir que o condutor atinja a velocidade de fluxo-livre, enquanto as tangentes não-independentes não possuem comprimento necessário para a aceleração entre as curvas sucessivas.

Desta forma, o procedimento de Lamm permite a elaboração do perfil de velocidades completo do alinhamento, uma vez que a velocidade operacional para as tangentes independentes ($V_{85Tmáx}$) é calculada para $CCR = 0$.

Utilizando uma taxa de aceleração de $0,85 \text{ m/s}^2$, obtida através de técnicas de *car-following*, a fórmula para avaliar o comprimento teórico da transição entre duas curvas (1 e 2) é dada por:

$$TL = \frac{V_{85,1}^2 - V_{85,2}^2}{2 \times 3,6^2 a} = \frac{V_{85,1}^2 - V_{85,2}^2}{22,03} \quad (3.8)$$

Com base em estudos anteriores, devem-se observar os três casos abaixo:

- Caso 1 – Tangente não independente: O condutor acelera (ou desacelera) uniformemente. O comprimento da tangente entre duas curvas é menor que o comprimento teórico necessário, portanto, a variação da velocidade operacional para a avaliação de acordo com o critério de segurança II está relacionada somente às duas curvas sucessivas;

Figura 3.2 – Caso 1

$$TL_s = \frac{V_{85,1}^2 - V_{85,2}^2}{25,92a} \quad (3.9)$$

$$V_{85,1} > V_{85,2}$$

$$CCR_{s,2} > CCR_{s,1}$$

- Caso 2 – Tangente independente: O comprimento da tangente entre duas curvas é pelo menos duas vezes o comprimento teórico necessário. O condutor consegue acelerar e manter por alguma distância a máxima velocidade 85-percentil para a tangente (V_{85Tmax}). Para avaliação do critério de segurança II, a sequência curva-tangente ou tangente-curva controla o projeto.

Figura 3.3 – Caso 2

$$TLL = \frac{V_{85Tmax}^2 - V_{85,2}^2}{25,92a} \quad (3.10)$$

$$TL_i = \frac{V_{85Tmax}^2 - V_{85,1}^2}{25,92a} \quad (3.11)$$

$$V_{85,1} > V_{85,2}$$

$$CCRs,2 > CCRs,1$$

- Caso 3 – Tangente independente: O comprimento da tangente está entre os casos 1 e 2. O condutor consegue acelerar até a V_{85T} mas não consegue mantê-la. Para avaliação do critério de segurança II, a sequência curva-tangente ou tangente-curva controla o projeto.

Figura 3.4 – Caso 3

$$TL_C = \frac{V_{85,1}^2 - V_{85,2}^2}{25,92a} \quad (3.12)$$

$$V_{85,T} = V_{85,1} + \Delta V_{85,T} \quad (3.13)$$

$$\Delta V_{85,T} = \frac{-2V_{85,1} + [4V_{85,1}^2 + 44,06(TL - TL_C)]^{1/2}}{2} \quad (3.14)$$

3.2 VIAS DE MÚLTIPLAS FAIXAS E OUTROS PARÂMETROS

Em rodovias de múltiplas faixas com pistas segregadas, categoria A na Alemanha, Lamm et al. (1999) afirmam que, devido às características de padrão elevado do alinhamento, a velocidade operacional (V_{85}) decresce pouco com a diminuição do raio de curvatura horizontal. Nestes casos, a velocidade operacional é definida da seguinte maneira:

$$V_{85} = V_d + 20 \text{ km/h} \quad V_d \geq 100 \text{ km/h} \quad (3.15)$$

$$V_{85} = V_d + 30 \text{ km/h} \quad V_d < 100 \text{ km/h} \quad (3.16)$$

A Figura 3.5 apresenta modelos de previsão de velocidade operacional para rodovias de múltiplas faixas desenvolvidos na Europa.

Regression models (average of 85th-percentile speeds in the driving and passing lanes):

$$\text{Germany: } V_{85} = 148.75 - 0.0162 \text{ CCR}_s \quad (8.23)$$

$$\text{Greece: } V_{85} = 135.42 - 0.0755 \text{ CCR}_s \quad (8.24)$$

$$\text{France: } V_{85} = 120 \text{ Km/h}$$

Figura 3.5 – Modelos de previsão de velocidade operacional para rodovias de múltiplas faixas da categoria A

Fonte: Lamm et al. (1999)

Para vias da categoria B, vias de múltiplas faixas com padrão não tão elevado (incluindo vias arteriais e coletoras), as velocidades operacionais estão mais

vinculadas ao limite legal imposto do que às características geométricas da via. Portanto, as velocidades operacionais são determinadas de acordo com:

$$V_{85} = V_{\text{perm}} + 20 \text{ km/h (vias da categoria BII – arteriais principais)} \quad (3.17)$$

$$V_{85} = V_{\text{perm}} + 10 \text{ km/h (vias da categoria BIII, CIII – arteriais secundárias)} \quad (3.18)$$

$$V_{85} = V_{\text{perm}} \text{ (vias da categoria BIV, CIV – coletoras principais)} \quad (3.19)$$

A maioria dos estudos utilizaram o raio de curvatura horizontal como variável dos modelos de previsão de velocidade. Porém, algumas pesquisas utilizaram outras características geométricas (greides, superelevação, largura da faixa), volume de tráfego e informações do pavimento.

Na França, o modelo apresentado na Figura 3.6 mostra uma diminuição na velocidade operacional com um aumento do greide para segmentos viários acima de 250 m de extensão. Para greides de 5 a 10%, nota-se uma redução de cerca de 20 km/h na velocidade operacional.

Figura 3.6 – Velocidade operacional em função do greide – França
Fonte: Lamm et al. (1999)

O modelo desenvolvido na Grécia é baseado em um grande número de curvas com CCR_s variando de 0 a 600 gon/km e greides entre 5 e 10% (Figura 3.7). A redução expressiva de velocidade operacional é causada pelos elementos do alinhamento horizontal, sendo o greide pouco “expressivo”. Isso se aplica somente para veículos de passeio.

Regression models:

$$\text{Curve 1: } V_{85} = \frac{10^6}{10150.10 + 8.529 \text{ CCR}_s} \quad R^2 = 0.81 \quad (8.16)$$

$$\text{Curve 2: } V_{85} = 72.36 - 0.015 \text{ CCR}_s \quad R^2 = 0.71 \quad (8.25)$$

$$\text{Curve 3: } V_{85} = 71.58 - 0.015 \text{ CCR}_s \quad R^2 = 0.83 \quad (8.26)$$

$$\text{Curve 4: } V_{85} = 70.91 - 0.015 \text{ CCR}_s \quad R^2 = 0.81 \quad (8.27)$$

Figura 3.7 – A influência do greide na velocidade operacional para vias de pista simples na Grécia
Fonte: Lamm et al. (1999)

Gong e Stamatiadis (2008) desenvolveram um modelo de previsão de velocidades operacionais para rodovias de quatro faixas. Para a pista interna, as variáveis utilizadas foram os tipos de acostamento, de canteiro e de pavimento, greide e comprimento da curva horizontal (equação (3.20)). Já para a pista externa, os fatores foram tipos de acostamento e de canteiro, greide, presença da curva de aproximação, e o raio e comprimento da curva (equação (3.21)).

$$V_{85} = 51,520 + 1,567ST - 2,795MT - 4,001PT - 2,150AG + 2,221\ln(LC) \quad (3.20)$$

$$R^2 = 0,6836$$

$$V_{85} = 60,779 + 1,804ST - 2,521MT - 1,071AG - 1,519FC + 0,00047R \quad (3.21)$$

$$+ 2,408 \frac{LC}{R}$$

$$R^2 = 0,5015$$

onde:

V_{85} = velocidade operacional [mph];

ST = tipo de acostamento (pavimentado, ST = 1; não pavimentado, ST = 0);

MT = tipo de canteiro (com barreira, MT = 0; sem barreira, MT = 1);

PT = tipo de pavimento (asfáltico, PT = 0; concreto, PT = 1);

AG = greide de aproximação ($i \geq 0,5\%$, AG = 1; do contrário, AG = 0);

FC = índice de curva (seção de aproximação é uma curva, FC = 1; do contrário, FC = 0);

R = raio da curva [pé];

LC = comprimento da curva [pé].

4 ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA ATRAVÉS DO MÉTODO DE LAMM

O método desenvolvido por Lamm et al. (1999), também conhecido como método dos critérios de segurança, utiliza três critérios para avaliar a consistência de projeto:

- Critério de segurança I – alcançar consistência entre as velocidades de projeto e operacional para cada elemento viário;
- Critério de segurança II – alcançar consistência entre a velocidade operacional de elementos viários sucessivos;
- Critério de segurança III – alcançar consistência na dinâmica de condução.

Estes critérios comparam a velocidade operacional (V_{85}) com a velocidade de projeto (V_d) para elementos únicos e sucessivos do alinhamento, além dos fatores de atrito laterais assumido e demandado.

4.1 CRITÉRIO DE SEGURANÇA I

Este critério compara a velocidade operacional com a velocidade de projeto para cada elemento do alinhamento horizontal. Para que as características da via se ajustem ao comportamento do motorista, o projetista deve garantir que as velocidades operacionais e de projeto sejam balanceadas (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Recomendações para os níveis de projeto do critério de segurança I

Caso 1: Projeto Bom

$$|V_{85} - V_d| \leq 10 \text{ km/h}$$

Nenhuma adaptação ou correção é necessária. Um comportamento balanceado de velocidades pode ser esperado especialmente em curvas.

Caso 2: Projeto Razoável

$$10 < |V_{85} - V_d| \leq 20 \text{ km/h}$$

Nestes locais em curva:

1. As velocidades devem ser diminuídas através da utilização de limites de velocidades e/ou equipamentos apropriados de controle de tráfego.
2. A taxa de superelevação deve estar relacionada à velocidade operacional para garantir que o fator de atrito assumido acomodaria o fator demandado.

Caso 3: Projeto Pobre

$$|V_{85} - V_d| > 20 \text{ km/h}$$

Discrepâncias críticas entre a velocidade de projeto e o real comportamento do motorista estão presentes. A taxa de acidentes pode levar a operações inseguras e não econômicas. Dessa forma, alterações de projeto são normalmente recomendadas. Caso estas não sejam possíveis, devem ser instalados equipamentos de controle de tráfego mais severos, como placas de limite de velocidade associadas a delineadores ou radares.

Fonte: Adaptado de Lamm et al. (1999)

4.2 CRITÉRIO DE SEGURANÇA II

O segundo critério de segurança compara as velocidades operacionais para elementos sucessivos do alinhamento. A diferença entre estas velocidades deve permanecer constantes ao longo de trechos extensos da rodovia, garantindo um processo de condução consistente. Para este critério, pode-se adotar as recomendações da Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Recomendações para os níveis de projeto do critério de segurança II

Caso 1: Projeto Bom

$$|V_{85i} - V_{di+1}| \leq 10 \text{ km/h}$$

Para estes trechos, a consistência do alinhamento horizontal existe entre elementos sucessivos, evitando inconsistências na velocidade operacional dos veículos. Nenhuma adaptação ou correção é necessária.

Caso 2: Projeto Regular

$$10 < |V_{85i} - V_{di+1}| \leq 20 \text{ km/h}$$

Estes trechos podem apresentar inconsistências menores entre elementos sucessivos do alinhamento. Normalmente, seria necessário controle de velocidades e/ou equipamentos de controle de tráfego, mas não alterações de projeto, a menos que exista um problema de segurança documentado.

Caso 3: Projeto Fraco

$$|V_{85i} - V_{di+1}| > 20 \text{ km/h}$$

Estes trechos apresentam fortes inconsistências que podem levar a índices de acidentes críticos, e, portanto, a operações inseguras. Assim, alterações de projeto são geralmente recomendadas. Caso não sejam possíveis, devem ser instalados equipamentos de controle de tráfego mais severos, como placas de limite de velocidade associadas a delineadores ou radares.

Fonte: Adaptado de Lamm et al. (1999)

4.3 CRITÉRIO DE SEGURANÇA III

O critério de segurança III aborda os elementos dinâmicos do traçado, comparando os fatores de atrito lateral demandado e assumido. Estudos em diversos países revelaram diferenças consideráveis entre estes fatores de atrito, o que afeta a expectativa dos condutores.

O fator de atrito assumido é função da velocidade de projeto e pode ser calculado através da Equação (4.1), determinada a partir de estudos de fatores de atrito laterais em diversos países (LAMM et al., 1999).

$$f_{RA} = 0,33 - 2,69 \times 10^{-3} V_d + 0,84 \times 10^{-5} (V_d)^2 \quad (4.1)$$

onde:

f_{RA} = fator de atrito lateral assumido

V_d = velocidade de projeto [km/h]

Já o fator de atrito demandado é calculado com base na velocidade operacional, no raio da curva e na taxa de superelevação (Equação (4.2)).

$$f_{RD} = \frac{V_{85}^2}{127R} - e \quad (4.2)$$

onde:

f_{RD} = fator de atrito lateral demandado

V_{85} = velocidade operacional [km/h]

R = raio da curva circular

e = taxa de superelevação [%/100]

Os valores para classificação do projeto de acordo com o critério de segurança III encontram-se na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Recomendações para os níveis de projeto do critério de segurança III

Caso 1: Projeto Bom

$$f_{RA} - f_{RD} \geq 0,01$$

Grande probabilidade que existam fatores de atrito suficientes nos trechos em curva. Nenhuma adaptação ou correção é necessária.

Caso 2: Projeto Regular

$$-0,04 \leq f_{RA} - f_{RD} < 0,01$$

Nos trechos em curva:

1. As velocidades devem ser diminuídas através da utilização de limites de velocidades e/ou equipamentos apropriados de controle de tráfego.
2. A taxa de superelevação deve estar relacionada à velocidade operacional para garantir que o fator de atrito assumido acomode o fator demandado;
3. Em caso de reaparecimento do problema, deve ser destinado um maior esforço à resistência à derrapagem.

Caso 3: Projeto Fraco

$$f_{RA} - f_{RD} < -0,04$$

Grande probabilidade de haver fatores de atrito insuficientes em trechos em curva, especialmente em superfícies molhadas, o que pode levar a um aumento na frequência de acidentes. A decisão de tomar ou não medidas de reconstrução deve ser baseada na situação de acidentes do local.

Fonte: Adaptado de Lamm et al. (1999)

O fator de atrito lateral está relacionado com a estabilidade dos veículos nas curvas horizontais. Podem haver dois tipos de instabilidade lateral em uma curva: escorregamento lateral e tombamento. O coeficiente de atrito lateral na interface pneu-pavimento determina qual vai ocorrer primeiro: se for pequeno, o veículo escorrega antes de tombar; se for suficientemente grande, o tombamento pode ocorrer antes do escorregamento (CANALE, 1989).

A maneira mais simples para analisar a estabilidade lateral de veículos em curvas horizontais é considerar o equilíbrio de forças que atuam sobre um veículo rígido que descreve um movimento circular uniforme (Figura 4.1).

Figura 4.1 – Forças atuantes no veículo em uma curva horizontal sem e com superelevação
Fonte: Canale (1989)

Para que o escorregamento aconteça, a força centrífuga ($M \cdot a_c$) é superior ao somatório das forças de atrito laterais das rodas internas e externas ($F_{yi} + F_{ye}$). A superelevação reduz o efeito da força centrífuga sobre o escorregamento, pois a componente do peso atua com as forças de atrito lateral para contrabalançar o efeito da força centrífuga.

Já no tombamento, ocorre o inverso: a força centrífuga é inferior ao somatório das forças de atrito laterais das rodas internas e externas. A utilização de superelevação transversal nos trechos em curva reduz os efeitos da aceleração lateral, evitando o tombamento precoce do caminhão. No projeto de rodovias, procura-se determinar a superelevação de tal forma que a aceleração lateral não seja superior a 0,1 g. Quanto menor a aceleração lateral máxima, maior a tendência ao tombamento do caminhão.

4.4 APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE SEGURANÇA

Para avaliar a consistência do alinhamento, os três critérios de segurança são combinados. Para cada critério, os trechos do alinhamento são classificados como bom, razoável ou pobre, e cada nível de projeto recebe um peso. As notas são somadas e obtém-se a média para classificação de acordo com o módulo de segurança, conforme Figura 4.2.

Figura 4.2 – Aplicação dos critérios de segurança
 Fonte: Adaptado de Lamm et al. (1999)

4.5 APLICAÇÃO EM RODOVIAS DE MÚLTIPLAS FAIXAS

Lamm et al. (1999) afirmam que os critérios de segurança podem ser aplicados em rodovias de múltiplas faixas (Tabela 4.4). O critério II normalmente não é necessário, porém, se há dúvidas ou o alinhamento apresenta condições extremas, este critério deve ser aplicado.

Tabela 4.4 – Princípios de projeto para vias da categoria A

Grupo		Categoria da via	Critério de Segurança I	Critério de Segurança II	Critério de Segurança III
A	Baixa concentração de construções	A I Conexão Interestadual	Múltiplas faixas:	Múltiplas faixas:	
		A II Conexão Regional	$V_d \geq 100 \text{ km/h}$ $V_{85i} = V_d + 20 \text{ km/h}$	Normalmente não necessário*	
		A III Conexão entre municípios	$V_d < 100 \text{ km/h}$ $V_{85i} = V_d + 20 \text{ km/h}$		$f_{RA} - f_{RD} \geq \Delta f_R$
		A IV Conexão de grande área de acessibilidade	Pista simples: $ V_{85i} - V_d \geq \Delta V_{allw}$ V_{85i} depende do CCR _s	Pista simples: $ V_{85i} - V_{85i+1} \geq \Delta V_{allw}$ V_{85i} depende do CCR _s	
		A V Conexão subordinada			

*Se há dúvidas ou para condições extremas de alinhamento, o critério deve ser aplicado

Fonte: adaptado de Lamm et al. (1999)

O trecho a ser estudado apresenta um alto índice de acidentes e possui uma geometria antiga (década de 50), com parâmetros inferiores aos recomendados pelos manuais e diretrizes atuais. Portanto, os critérios de segurança podem ser aplicados.

5 ESTUDO DE CASO

5.1 LOCALIZAÇÃO DO TRECHO DE ESTUDO

A pesquisa compreende um trecho com 10 km de extensão da Rodovia Régis Bittencourt (BR-116), no município de Cajati, próximo à divisa do Estado de São Paulo com o Estado do Paraná (Figura 5.1).

Figura 5.1 – Mapa de Localização
Fonte: Ministério dos Transportes

Neste local, as pistas Norte (sentido São Paulo) e Sul (sentido Curitiba) são totalmente segregadas. O trecho de estudo localiza-se entre os km 509 e km 519 da Pista Sul, conforme Figura 5.2.

Figura 5.2 – Trecho de estudo
Fonte: Google Earth

Esta rodovia foi projetada e construída na década de 1950, e inaugurada no início dos anos 60. Devido ao relevo acentuado, o trecho de estudo apresenta uma série de curvas com raios pequenos e rampas de até 6%.

A concessionária forneceu o projeto em planta e perfil original da rodovia, que foi comparado com o levantamento aerofotogramétrico atual.

A velocidade de projeto é de 80 km/h. As velocidades máximas permitidas são de 80 km/h para veículos leves e 60 km/h para veículos pesados. Este trecho possui 3 faixas de rolamento com 3,5 m de largura, sem acostamento (Figura 5.3). Apresenta um total de 20 tangentes e 20 curvas, com raios variando de 130 a 625 m e rampa máxima de 6% (Figura 5.4 e Tabela 5.1).

Figura 5.3 – Rodovia Régis Bittencourt (km 513)

Figura 5.4 – Curvas e tangentes do trecho de estudo

Tabela 5.1 – Características do trecho de estudo

Seção	Extensão (m)	Raio (m)	Espiral (m)	Rampa (%)	
C1	187,035	132,24	80	2,065	
T1	59,287			2,065	
C2	218,069	132,24	60	2,111	
T2	37,76			2,111	
C3	53,92	132,24	60	2,904	
T3	237,468			2,904	-1,040
C4	141,73	615,25		-1,040	
T4	308,608			-1,040	
C5	5,941	190,98	80	-1,040	
T5	272,18			-1,040	
C6	100,706	132,24	80	5,986	
T6	47,027			5,986	
C7	220,66	180	60	5,986	
T7	63,425			5,986	
C8	82,555	229,25	90	5,986	
T8	208,53			4,029	
C9	344,493	615,44		4,029	
T9	114,264			4,029	
C10	188,925	190,98	90	4,029	4,763
T10	52,606			4,763	
C11	171,552	190,98	90	4,763	
T11	303,161			5,985	
C12	2,034	229,23	80	5,985	
T12	51,389			5,985	
C13	169,324	603,14		5,985	
T13	573,676			5,985	6,060
C14	44,765	132,24	80	6,060	
T14	151,623			6,060%	3,900%
C15	89,555	229,25	90	1,802	
T15	216,345			1,802	6,010
C16	107,609	190,98	90	6,010	
T16	297,213			6,010	
C17	56,793	156,3	80	6,010	
T17	44,797			6,010	
C18	162,428	214,87	90	6,010	2,926
T18	358,727			2,926	3,383
C19	363,597	286,55	100	3,383	
T19	127,815			3,383	
C20	263,739	185	80	3,383	
T20	1446,736				

Com relação à composição de tráfego, os veículos de passeio representam 47% (Praça 04 - km 485,7) e 39% (Praça 05 - km 542,9) do número total de veículos, enquanto que os veículos comerciais respondem por 53% (Praça 04) e 61% (Praça 05). No trecho de estudo, o Volume Diário Médio (VDM) corresponde a 34.500 vp/dia. Os dados foram fornecidos pela concessionária a partir das contagens das praças de pedágio no ano de 2013.

5.2 DADOS DE ACIDENTES

A concessionária responsável pela rodovia forneceu os registros de acidentes (dados anônimos e secundários) da Pista Sul durante o período de 2011 a 2013, que continham informações como quilômetro da ocorrência, tipo de acidente, causa provável, tipo de veículo, etc. Para esta pesquisa, são relevantes os dados do quilômetro de ocorrência e do tipo de acidente.

Os dados de registros de acidentes foram analisados e compilados. No que diz respeito ao quilômetro de ocorrência, nota-se que os locais com maior número de acidentes estão localizados nos quilômetros 511 e 514, como mostra a Figura 5.5 e a Tabela 5.2.

Figura 5.5 – Porcentagem de acidentes por km

Tabela 5.2 – Número de acidentes por km

km	Ano		
	2011	2012	2013
509	44	6	8
510	14	4	2
511	89	35	13
512	8	3	2
513	3	10	2
514	24	38	40
515	16	21	10
516	13	6	8
517	2	10	2
518	9	7	5
Total	222	140	92

Considerando os tipos de acidentes registrados, o mais frequente é a saída de pista (Figura 5.6), com causa provável em sua maioria indicada como “perda de controle (imperícia)”. Porém, o número de saídas de pista diminuiu de 2011 para 2013 e houve um aumento significativo de tombamentos.

Figura 5.6 – Porcentagem de acidentes por tipo

Saídas de pista, capotamentos e tombamentos são acidentes correlacionados. Estes tipos de acidentes estão claramente ligados à altas velocidades dos veículos nas

tangentes que, ao entrarem na curva sem superelevação adequada em alta velocidade, acabam sofrendo algum desses acidentes.

Para uma análise mais detalhada, identificou-se a metragem de ocorrência e o principal tipo de acidente para cada quilômetro do trecho (Tabela 5.3 a Tabela 5.12). Observa-se que em todos os quilômetros do trecho o principal tipo de acidente é a saída de pista, seguido pelo capotamento e tombamento.

Tabela 5.3 – Acidentes km 509

Tabela 5.4 – Acidentes km 510

Tabela 5.5 – Acidentes km 511

Tabela 5.6 – Acidentes km 512

Tabela 5.7 – Acidentes km 513

Tabela 5.8 – Acidentes km 514

Tabela 5.9 – Acidentes km 515

Tabela 5.10 – Acidentes km 516

Tabela 5.11 – Acidentes km 517

mt	2011	2012	2013	Tipo de Acidentes	
0	-	7	-	<ul style="list-style-type: none"> Capotamento Choque - Talude Colisão Lateral Colisão Traseira Saida de Pista Tombamento 	
100	1	-	-		
300	-	1	2		
400	1	-	-		
800	-	2	-		

Tabela 5.12 – Acidentes km 518

mt	2011	2012	2013	Tipo de Acidentes	
0	7	4	1	<ul style="list-style-type: none"> Capotamento Choque - Talude Colisão Lateral Colisão Traseira Saida de Pista Tombamento 	
50	-	-	1		
100	-	1	-		
150	-	-	1		
200	-	-	1		
250	1	-	-		
300	1	2	1		

Através das tabelas anteriores, nota-se que o maior número de acidentes registrados está localizado no início de cada quilômetro. Este fato pode estar relacionado com a forma como os acidentes são registrados e a marcação quilométrica existente na rodovia.

Foram verificados também a quantidade e os tipos de veículos envolvidos nos acidentes (veículos de passeio, caminhões e carretas e outros), conforme Tabela 5.13 a Tabela 5.15. Não foi informado o tipo do caminhão envolvido nos acidentes, fator de extrema importância, já que veículos com centros de gravidade mais altos estão mais sujeitos a tombamentos.

Tabela 5.13 – Veículos Envolvidos – Ano 2011

Tipo de Acidente	Nº de Acidentes	Veículos Envolvidos			
		Total Veículos	Veículos de Passeio	Caminhões e Carretas	Outros
km 509	44	51	30	8	13
Capotamento	11	11	7	-	4
Choque - Talude	3	3	2	-	1
Colisão Lateral	2	4	2	-	2
Colisão Traseira	1	2	-	2	0
Não Def	1	2	-	1	1
Saída de Pista	23	24	19	2	3
Tombamento	3	5	-	3	2
km 510	14	21	10	10	1
Capotamento	2	3	1	2	-
Choque - Defesa	1	1	1	-	-
Colisão Lateral	3	7	2	4	1
Colisão Traseira	1	2	1	1	-
Saída de Pista	6	7	5	2	-
Tombamento	1	1	-	1	-
km 511	89	102	84	11	7
Capotamento	6	6	6	-	-
Choque - Defesa	18	20	18	-	2
Choque - Objeto não identificado	1	1	1	-	-
Choque - Suporte de Sinalização	1	1	1	-	-
Choque - Talude	3	3	3	-	-
Colisão Lateral	3	6	3	2	1
Colisão Transversal	1	2	1	1	-
Colisão Traseira	2	7	5	1	1
Não Def	1	1	1	-	-
Queda de Moto	1	1	-	-	1
Saída de Pista	47	48	45	2	1
Tombamento	5	6	-	5	1
km 512	8	10	3	4	3
Capotamento	2	2	1	-	1
Colisão Lateral	1	2	-	1	1
Colisão Traseira	1	2	-	2	-
Saída de Pista	2	2	2	-	-
Tombamento	2	2	-	1	1
km 513	3	4	3	1	-
Capotamento	2	3	3	-	-
Saída de Pista	1	1	-	1	-

Continua

Continuação

Tipo de Acidente	Nº de Acidentes	Veículos Envolvidos			
		Total Veículos	Veículos de Passeio	Caminhões e Carretas	Outros
km 514	24	25	9	8	8
Capotamento	3	3	3	-	-
Choque - Talude	2	2	-	1	1
Colisão Traseira	1	2	-	2	-
Saída de Pista	15	15	6	3	6
Tombamento	3	3	-	2	1
km 515	16	19	12	4	3
Capotamento	7	7	6	-	1
Choque - Talude	1	1	1	-	-
Colisão Traseira	1	2	-	2	-
Não Def	1	2	1	-	1
Saída de Pista	4	4	4	-	-
Tombamento	2	3	-	2	1
km 516	13	18	3	10	5
Capotamento	1	1	-	-	1
Choque - Defesa	1	1	1	-	-
Colisão Traseira	4	8	2	3	3
Saída de Pista	5	6	-	5	1
Tombamento	2	2	-	2	-
km 517	2	3	-	3	-
Capotamento	1	1	-	1	-
Colisão Lateral	1	2	-	2	-
km 518	9	13	2	10	1
Capotamento	1	1	1	-	-
Colisão Lateral	1	2	-	2	-
Colisão Traseira	3	6	-	6	-
Saída de Pista	4	4	1	2	1
Total	222	266	156	69	41

Tabela 5.14 – Veículos Envolvidos – Ano 2012

Tipo de Acidente	Nº de Acidentes	Veículos Envolvidos			
		Total Veículos	Veículos de Passeio	Caminhões e Carretas	Outros
km 509	6	8	2	4	2
Capotamento	1	1	1	-	-
Colisão Lateral	1	2	1	1	-
Saída de Pista	2	3	-	1	2
Tombamento	2	2	-	2	-
km 510	4	6	2	3	1
Capotamento	1	1	1	-	-
Colisão Traseira	1	2	-	2	-
Saída de Pista	1	2	1	-	1
Tombamento	1	1	-	1	-
km 511	35	36	27	7	2
Capotamento	2	2	2	-	-
Choque - Defesa	11	11	10	-	1
Choque - Talude	1	1	1	-	-
Colisão Traseira	1	2	1	1	-
Saída de Pista	13	13	12	-	1
Tombamento	7	7	1	6	-
km 512	3	4	2	2	-
Colisão Lateral	1	2	1	1	-
Saída de Pista	2	2	1	1	-
km 513	10	13	4	8	1
Colisão Lateral	1	3	-	3	-
Colisão Traseira	1	2	-	2	-
Saída de Pista	7	7	4	2	1
Tombamento	1	1	-	1	-
km 514	38	42	19	10	13
Capotamento	14	14	7	-	7
Choque - Defesa	1	1	-	1	-
Choque - Talude	1	1	1	-	-
Colisão Traseira	3	7	-	7	-
Saída de Pista	17	17	10	1	6
Tombamento	1	1	-	1	-
Travessia Canteiro Central	1	1	1	-	-
km 515	21	26	7	6	13
Capotamento	8	8	1	-	7
Choque - Defesa	1	2	1	-	1
Choque - Talude	2	2	-	-	2
Colisão Traseira	2	4	1	3	-
Queda de Moto	1	1	-	-	1
Saída de Pista	7	9	4	3	2

Continua

Continuação

Tipo de Acidente	Nº de Acidentes	Veículos Envolvidos			
		Total Veículos	Veículos de Passeio	Caminhões e Carretas	Outros
km 516	6	8	1	4	3
Saída de Pista	4	6	1	2	3
Tombamento	2	2	-	2	-
km 517	10	14	4	8	2
Choque - Talude	1	1	-	1	-
Colisão Traseira	4	8	2	4	2
Saída de Pista	4	4	2	2	-
Tombamento	1	1	-	1	-
km 518	7	10	1	7	2
Choque - Talude	1	1	-	1	-
Colisão Lateral	1	2	-	1	1
Colisão Traseira	2	4	-	3	1
Saída de Pista	2	2	1	1	-
Tombamento	1	1	-	1	-
Total	140	167	69	59	39

Tabela 5.15 – Veículos Envolvidos – Ano 2013

Tipo de Acidente	Nº de Acidentes	Veículos Envolvidos			
		Total Veículos	Veículos de Passeio	Caminhões e Carretas	Outros
km 509	8	9	2	6	1
Colisão Lateral	1	2	-	2	-
Queda de Moto	1	1	-	-	1
Saída de Pista	3	3	2	1	-
Tombamento	3	3	-	3	-
km 510	2	3	-	3	-
Colisão Lateral	1	2	-	2	-
Tombamento	1	1	-	1	-
km 511	13	18	1	16	1
Choque - Defesa	1	2	1	-	1
Colisão Lateral	1	3	-	3	-
Colisão Traseira	2	4	-	4	-
Saída de Pista	3	3	-	3	-
Tombamento	6	6	-	6	-
km 512	2	2	1	1	-
Capotamento	1	1	1	-	-
Tombamento	1	1	-	1	-
km 513	2	3	1	2	-
Colisão Traseira	1	2	-	2	-
Saída de Pista	1	1	1	-	-

Continua

Continuação

Tipo de Acidente	Nº de Acidentes	Veículos Envolvidos			
		Total Veículos	Veículos de Passeio	Caminhões e Carretas	Outros
km 514	40	48	28	8	12
Capotamento	16	16	9	-	7
Choque - Defesa	1	1	-	1	-
Choque - Talude	1	1	1	-	-
Colisão Lateral	4	8	3	4	1
Colisão Traseira	3	6	3	2	1
Não Def	1	1	-	-	1
Saída de Pista	12	13	10	1	2
Tombamento	1	1	1	-	-
Choque - Elemento de Drenagem	1	1	1	-	-
km 515	10	12	6	3	3
Capotamento	1	1	-	-	1
Choque - Defesa	1	1	1	-	-
Choque - Suporte de Sinalização	1	1	1	-	-
Choque - Talude	1	1	1	-	-
Colisão Traseira	2	4	1	2	1
Saída de Pista	3	3	2	-	1
Tombamento	1	1	-	1	-
km 516	8	9	4	3	2
Capotamento	2	2	1	-	1
Choque - Talude	1	1	1	-	-
Colisão Traseira	1	1	1	-	-
Saída de Pista	1	1	1	-	-
Tombamento	3	4	-	3	1
km 517	2	2	-	2	0
Tombamento	2	2	-	2	-
km 518	5	6	1	4	1
Saída de Pista	3	3	1	2	-
Tombamento	2	3	-	2	1
Total	92	112	44	48	20

Com base nos dados acima, observa-se que houve uma diminuição significativa no número de veículos envolvidos (cerca de 58%), e também na diferença entre o número de veículos de passeios e comerciais: em 2011, havia 156 veículos de passeio envolvidos contra 69 comerciais; já em 2013, foram 44 veículos de passeio para 48 comerciais.

Com relação aos tipos de acidente, em geral, os veículos de passeio se envolvem mais em saídas de pista e capotamentos, enquanto os caminhões e carretas sofrem na sua maioria colisões e tombamentos.

5.3 EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA MEDIÇÃO DE VELOCIDADE

Para a coleta dos dados, utilizou-se o equipamento eletrônico da *MetroCount* (MC-5600), de operação automática. O MC-5600 é composto por duas mangueiras fixadas no pavimento que detectam o tipo, o intervalo de tempo e a velocidade de cada veículo que passa sobre as mesmas. As mangueiras são conectadas ao equipamento (*Road Side Unit* – Figura 5.7) que fica na lateral da pista e armazena os dados da contagem. Após o término das medições, os dados são descarregados em um computador contendo o software da *MetroCount* (*MC Report*), que gera diversos tipos de relatórios, dependendo da necessidade do usuário.

(a)

(b)

(c)

Figura 5.7 - (a) Mangueiras fixadas no pavimento, (b) Road Side Unit e (c) equipamento conectado ao PC.

O MC-5600 utiliza a classificação de veículos ARX (Tabela 5.16), que é uma modificação da AustRoads94.

Tabela 5.16 – Classificação ARX

Eixos	Grupos	Descrição	Classe		Veículo Dominante	Agregado
2	1 ou 2	Muito Curto - Bicicleta ou Motocicleta	MC	1
2	1 ou 2	Curto - Sedan, Perua, 4X4, Utilitário, Van Leve	SV	2		1 (Leve)
3, 4 ou 5	3	Reboque Curto - Trailer, Barco, etc	SVT	3
2	2	Caminhão de dois eixos ou Ônibus	TB2	4
3	2	Caminhão de três eixos ou Ônibus	TB3	5		2 (Médio)
> 3	2	Caminhão de quatro eixos	T4	6
3	3	Veículo de três eixos articulado ou veículo rígido e trailer	ART3	7
4	> 2	Veículo de quatro eixos articulado ou veículo rígido e trailer	ART4	8
5	> 2	Veículo de cinco eixos articulado ou veículo rígido e trailer	ART5	9
≥ 6	> 2	Veículo de seis (ou mais) eixos articulado ou veículo rígido e trailer	ART6	10		3 (Pesado)
>6	4	Caminhão de dois reboques ou Caminhão pesado e semi-reboque	BD	11
> 6	≥ 5	Combinação de dois ou três reboques ou Caminhão pesado e dois (ou mais) semi-reboques	DRT	12

Fonte: adaptado de MetroCount.

A Tabela 5.17 apresenta a equivalência da classificação de veículos ARX com a classificação utilizada pelo DNIT.

Tabela 5.17 – Equivalência entre as classes ARX e as categorias do DNIT

Classe ARX		Categoria DNIT
MC	1	9 (moto)
SV	2	1 (carro)
SVT	3	3 (carro + reboque)
TB2	4	2 (2 eixos – rígido)
TB3	5	4 (3 eixos – rígido)
ART3	7	5 (3 eixos – articulado)
ART4	8	6 (4 eixos – articulado)
ART5	9	7 (5 eixos – articulado)
ART6	10	8 (6 eixos – articulado)

5.4 PONTOS DE COLETA

Os pontos de medição de velocidade foram definidos com base nos seguintes critérios: locais com grande frequência de acidentes e combinações de diferentes raios de curvatura horizontal e rampas de perfil vertical. No total foram estabelecidos 12 pontos de coleta, sendo 10 curvas e 2 tangentes, conforme Tabela 5.18. Estes pontos não apresentam monitoramento de velocidade por radar e interseções com outras vias que possam afetar as velocidades praticadas pelos motoristas, e consequentemente, os resultados obtidos através das medições de velocidade.

Tabela 5.18 – Pontos para medição de velocidades

Ponto	km	Raio (m)	Rampa (%)
1	509 + 400	132	2,11
2	510 + 100	615	1,04
3	511 + 100	132	5,99
4	511 + 800	230	5,99
5	513 + 600	∞	5,98
6	514 + 0	603	5,98
7	514 + 500	∞	6,00
8	515 + 200	230	1,80
9	515 + 700	190	6,00
10	516 + 300	156	6,00
11	517 + 500	286	3,38
12	518 + 100	185	3,38

5.5 MEDIÇÕES DE VELOCIDADE

As medições de velocidade ocorreram em duas campanhas: fevereiro e outubro de 2014, devido a intempéries e compatibilização com o cronograma da concessionária. Nos dias de coleta, não havia chuva ou neblina, e o fluxo de tráfego estava normalizado (regime de fluxo livre). Nas curvas, o equipamento foi instalado no ponto central.

Para a instalação do equipamento, os funcionários da concessionária interditavam as faixas da rodovia para garantir a segurança da equipe (Figura 5.8 e Figura 5.9). As mangueiras do contador de tráfego (*MetroCount*) foram instaladas nas faixas esquerda e central da rodovia (Figura 5.10 e Figura 5.11), devido a impossibilidade de total interdição do fluxo tráfego.

O contador de tráfego (*Road Side Unit*) fica escondido na lateral da pista preso a um suporte de placa ou na defesa. As faixas são liberadas ao tráfego e a equipe deixa o local de instalação.

Figura 5.8 – Funcionário da concessionária interditando as faixas com cones

Figura 5.9 – Faixas esquerda e central interditadas

Figura 5.10 – Equipe instalando o equipamento

Figura 5.11 – Mangueiras fixadas no pavimento

Os estudos realizados até o momento recomendam que são necessárias no mínimo 100 medições em cada ponto para a determinação da velocidade operacional, utilizando somente veículos de passeio. Como o VDM da rodovia é alto, foram necessárias apenas 4 horas de contagem em cada ponto de coleta. A Tabela 5.19 mostra a quantidade de registros para cada ponto de coleta.

Tabela 5.19 – Quantidades de registros coletados

Local	Total de Veículos	Veículos Leves	Veículos Pesados
km 509+400	1263	819	444
km 510+100	130	110	20
km 511+800	1228	575	653
km 511+800	1228	575	653
km 513+600	1270	564	706
km 514+100	1799	878	921
km 514+500	921	346	575
km 515+200	131	110	21
km 515+700	120	105	15
km 516+300	992	697	295
km 518+100	2250	715	1535

Foram utilizados dois equipamentos para a coleta de velocidades. Porém, um dos equipamentos possuía uma mangueira mais curta, ocupando somente a faixa da esquerda. Nos locais onde este equipamento foi instalado (quilômetros 510+100, 515+200 e 515+700), o total de registros coletados foi menor, mas suficiente para o cálculo da velocidade operacional.

No quilômetro 517+500, ocorreu um incidente de trânsito (caminhão quebrado na faixa da direita) bastante próximo ao local de instalação do equipamento. Isto interferiu com os resultados, pois as velocidades coletadas foram extremamente baixas. Portanto, este ponto foi descartado, totalizando 11 pontos de medição de velocidades.

5.6 VELOCIDADE OPERACIONAL

Para o cálculo da velocidade operacional, utilizaram-se somente os dados de velocidade dos veículos leves, uma vez que os veículos pesados possuem velocidades menores, o que afetaria significativamente os resultados. Excluíram-se as motocicletas e os veículos com headway inferior a 5 segundos, para evitar a formação de pelotões, ou seja, medições nas quais a velocidade do veículo em questão é influenciada pelo veículo anterior.

Para cada ponto coletado, dividiu-se os dados em 2 conjuntos: O conjunto 1 foi utilizado para o desenvolvimento e calibração do modelo, e o segundo para a validação do modelo. A primeira observação foi alocada no conjunto 1, a segunda no conjunto 2, a terceira no conjunto 1, e assim sucessivamente, conforme Tabela 5.20.

Tabela 5.20 – Separação dos dados em conjuntos

Conjunto 1	Conjunto 2
V1	V2
V3	V4
⋮	⋮
Vn-1	Vn

Em seguida, determinaram-se as curvas de frequência acumulada para obtenção do perfil de velocidades e do 85º percentil, que representa a velocidade operacional (V_{85}). A Figura 5.12 e a Figura 5.13 apresentam o cálculo da velocidade operacional para os dois conjuntos do km 509+400. Os demais gráficos encontram-se no Apêndice B.

Figura 5.12 – Velocidade operacional – km 509+400 (Conjunto 1)

Figura 5.13 – Velocidade operacional – km 509+400 (Conjunto 2)

A Tabela 5.21 contém as velocidades operacionais obtidas para os dois conjuntos, bem como as velocidades mínimas e máximas de cada quilômetro. Os resultados mostram que a velocidade operacional obtida através das medições é superior ao limite estabelecido no trecho de estudo para todos os pontos coletados.

Tabela 5.21 – V_{85} observadas

Local	$V_{\min}$ (km/h)	$V_{\max}$ (km/h)	V_{85} (km/h) Conjunto 1	V_{85} (km/h) Conjunto 2
km 509+400	42,1	117,8	88,7	89,7
km 510+100	63,5	126,9	108,7	103,5
km 511+100	47,0	109,3	90,1	91,6
km 511+800	28,6	134,1	88,0	89,7
km 513+600	24,4	117,6	90,4	92,2
km 514+100	28,9	122,7	92,0	91,6
km 514+500	32,6	120,7	96,7	85,9
km 515+200	36,7	122,3	101,9	102,4
km 515+700	68,6	126,3	99,5	100,4
km 516+300	35,6	104,9	87,2	88,5
km 518+100	25,4	128,2	99,6	94,6

5.7 MODELO DE PREVISÃO DE VELOCIDADE OPERACIONAL

Para o desenvolvimento do modelo de previsão de velocidade operacional, calculou-se inicialmente a taxa de mudança de curvatura (CCRs) para cada ponto coletado através da equação (3.5), conforme Tabela 5.22.

Tabela 5.22 – CCRs, rampa e V_{85} para cada ponto de coleta

Local	CCR _s (gon/km)	i (%)	V_{85} (km/h)
km 509+400	396,2	2,111	88,7
km 510+100	103,5	-1,040	108,7
km 511+100	334,0	5,986	90,1
km 511+800	182,6	5,986	88,0
km 513+600	0,0	5,985	90,4
km 514+100	105,6	5,985	92,0
km 514+500	0,0	6,060	96,7
km 515+200	185,1	1,802	101,9
km 515+700	229,2	6,010	99,5
km 516+300	257,2	6,010	87,2
km 518+100	279,3	3,383	99,6

Com base nos dados acima, foi desenvolvida uma equação por meio de regressão linear utilizando o software *Excel*. O resultado encontra-se na Equação (5.1).

$$V_{85} = 107,534 - 0,02CCR_s - 2,06i \quad (5.1)$$

$$R^2 = 0,59$$

onde:

V_{85} = velocidade operacional [km/h];

CCR_s = taxa de mudança de curvatura [gon/km];

i = rampa [%].

O modelo acima indica que, para o trecho de estudo, a velocidade operacional sofre maior influência do alinhamento vertical que do horizontal.

5.8 VALIDAÇÃO DO MODELO DE PREVISÃO DE VELOCIDADES

Para a validação do modelo, calculou-se a velocidade operacional para os pontos coletados através da equação (5.1) e comparou-se com os dados observados do Conjunto 2 (ver Tabela 5.23).

Tabela 5.23 – V_{85} calculadas e observadas

km	V_{85} calculada (km/h)	V_{85} observada (km/h)
509+400	95,3	89,7
510+100	107,6	103,5
511+100	88,5	91,6
511+800	91,6	89,7
513+600	95,2	92,2
514+100	93,1	91,6
514+500	95,1	85,9
515+200	100,1	102,4
515+700	90,6	100,4
516+300	90,0	88,5
518+100	95,0	94,6

Em seguida, plotou-se estes pontos para validação do modelo (Figura 5.14).

Figura 5.14 – V_{85} observada x V_{85} calculada

Através o gráfico anterior, observa-se que, com exceção dos quilômetros 514+500 e 515+700, as velocidades operacionais calculadas e observadas estão bastante próximas. Eliminando estes pontos, o gráfico fica da seguinte maneira (Figura 5.15):

Figura 5.15 – V_{85} observada x V_{85} calculada

Com a eliminação dos dois locais mencionados, o modelo de previsão de velocidades desenvolvido possui boa qualidade.

5.9 ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA

Primeiramente, determinaram-se as taxas de mudança de curvatura (CCRs) e as rampas para cada elemento do trecho de estudo, com base nos dados de projeto fornecidos pela concessionária. Em seguida, as velocidades operacionais foram calculadas de acordo com o modelo da Equação (5.1) (ver **Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Tabela 5.24 – CCRs, rampa e V_{85} para cada elemento do trecho de estudo

Seção	CCRs (m)	i (%)	V_{85} (km/h)
C1	370,7	2,065	95,9
T1	0	2,065	103,3
C2	396,2	2,111	95,3
T2	0	2,111	103,2
C3	315,5	2,904	95,2
T3	0	2,904	101,6
C4	103,5	-1,040	107,6
T4	0	-1,040	109,7
C5	172,7	-1,040	106,2
T5	0	-1,040	109,7
C6	333,9	5,986	88,5
T6	0	5,986	95,2

Continua

Continuação

Seção	CCRs (m)	i (%)	V₈₅ (km/h)
C7	291,6	5,986	89,4
T7	0	5,986	95,2
C8	182,6	5,986	91,6
T8	0	4,029	99,2
C9	103,5	4,029	97,2
T9	0	4,029	99,2
C10	252,2	4,763	92,7
T10	0	4,763	97,7
C11	248,2	4,763	92,8
T11	0	5,985	95,2
C12	140,7	5,985	92,4
T12	0	5,985	95,2
C13	105,6	5,985	93,1
T13	0	6,060	95,1
C14	293,5	6,060	89,2
T14	0	3,900	99,5
C15	185,1	1,802	100,1
T15	0	1,802	103,8
C16	229,2	6,010	90,6
T16	0	6,010	95,2
C17	257,2	6,010	90,0
T17	0	6,010	95,2
C18	218,5	2,926	97,1
T18	0	2,926	101,5
C19	182,9	3,383	96,9
T19	0	3,383	100,6
C20	279,3	3,383	95,0
T20	0	3,383	100,6

Em seguida, verificou-se se as tangentes eram independentes ou não independentes através das equações apresentadas no Capítulo 3. Para este trecho de estudo, 18 tangentes foram classificadas como independentes e apenas duas não independentes (tangentes T14 e T17).

5.9.1 Determinação da Velocidade de Projeto

Como a rodovia em questão é antiga, não foram encontrados dados da velocidade de projeto do trecho de estudo. Porém, a concessionária disponibilizou as características de projeto de um trecho bastante próximo ao trecho de estudo, no qual consta que a velocidade de projeto desejável seria de 100 km/h e, para casos restritos, 80 km/h.

Para rodovias existentes, Lamm et al. (1999) sugerem que a velocidade de projeto seja calculada através da média ponderada das taxas de mudança de curvatura - $\overline{CCR}_s$, conforme equação (5.2). O $\overline{CCR}_s$ pode ser tomado como base para determinar a V_{85} média através do modelo de previsão de velocidades.

$$\overline{CCR}_s = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} CCR_{Si} \times L_i}{\sum_{i=1}^{i=n} L_i} \quad (5.2)$$

onde:

$\overline{CCR}_s$ = taxa de mudança de curvatura média [gon/km];

CCR_{Si} = taxa de mudança de curvatura da curva i [gon/km];

L_i = comprimento da curva i [m].

Como o modelo desenvolvido para a previsão de velocidades operacionais sofre maior influência da rampa, a velocidade de projeto foi calculada através da equação de Trentin (2007), elaborada para rodovias brasileiras (Tabela 5.25).

Tabela 5.25 – Cálculo da V_d	
$\overline{CCR}_s$ (gon/km)	V_d através do modelo de Trentin (2007) (km/h)
240	89

Com base nos dados da concessionária e no cálculo acima, adotou-se o valor de 80 km/h para a velocidade de projeto, já que o trecho de estudo localiza-se em uma região com relevo acentuado (Serra do Azeite), é bastante curvilíneo e apresenta curvas com raios pequenos.

5.9.2 Critério de Segurança I

Este critério compara a velocidade operacional (V_{85}) com a velocidade de projeto (V_d) para cada elemento do alinhamento. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.26.

Tabela 5.26 – Classificação de acordo com o critério de segurança I

Seção	V₈₅ (km/h)	 V₈₅ – V_d (km/h)	Classificação
C1	95,9	15,9	RAZOÁVEL
T1	103,3	23,3	POBRE
C2	95,3	15,3	RAZOÁVEL
T2	103,2	23,2	POBRE
C3	95,2	15,2	RAZOÁVEL
T3	101,6	21,6	POBRE
C4	107,6	27,6	POBRE
T4	109,7	29,7	POBRE
C5	106,2	26,2	POBRE
T5	109,7	29,7	POBRE
C6	88,5	8,5	BOM
T6	95,2	15,2	RAZOÁVEL
C7	89,4	9,4	BOM
T7	95,2	15,2	RAZOÁVEL
C8	91,6	11,6	RAZOÁVEL
T8	99,2	19,2	RAZOÁVEL
C9	97,2	17,2	RAZOÁVEL
T9	99,2	19,2	RAZOÁVEL
C10	92,7	12,7	RAZOÁVEL
T10	97,7	17,7	RAZOÁVEL
C11	92,8	12,8	RAZOÁVEL
T11	95,2	15,2	RAZOÁVEL
C12	92,4	12,4	RAZOÁVEL
T12	95,2	15,2	RAZOÁVEL
C13	93,1	13,1	RAZOÁVEL
T13	95,1	15,1	RAZOÁVEL
C14	89,2	9,2	BOM
T14	99,5	19,5	RAZOÁVEL
C15	100,1	20,1	POBRE
T15	103,8	23,8	POBRE
C16	90,6	10,6	RAZOÁVEL
T16	95,2	15,2	RAZOÁVEL
C17	90,0	10,0	RAZOÁVEL
T17	95,2	15,2	-
C18	97,1	17,1	RAZOÁVEL
T18	101,5	21,5	POBRE
C19	96,9	16,9	RAZOÁVEL
T19	100,6	20,6	POBRE
C20	95,0	15,0	RAZOÁVEL
T20	100,6	20,6	POBRE

5.9.3 Critério de Segurança II

O critério de segurança II compara a velocidade operacional (V_{85}) para elementos sucessivos do alinhamento. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.27. Observa-se que as tangentes T14 e T17 não foram avaliadas segundo este critério por serem tangentes não-independentes. A curva C21 teve sua velocidade operacional calculada para a classificação da tangente T20.

Tabela 5.27 – Classificação de acordo com o critério de segurança II

Seção	V₈₅ (km/h)	 V_{85,i} – V_{85,i+1} (km/h)	Classificação
C1	95,9	7,4	BOM
T1	103,3	8,0	BOM
C2	95,3	7,9	BOM
T2	103,2	7,9	BOM
C3	95,2	6,3	BOM
T3	101,6	6,1	BOM
C4	107,6	2,1	BOM
T4	109,7	3,5	BOM
C5	106,2	3,5	BOM
T5	109,7	21,2	RAZOÁVEL
C6	88,5	6,7	BOM
T6	95,2	5,8	BOM
C7	89,4	5,8	BOM
T7	95,2	3,7	BOM
C8	91,6	7,7	BOM
T8	99,2	2,1	BOM
C9	97,2	2,1	BOM
T9	99,2	6,6	BOM
C10	92,7	5,0	BOM
T10	97,7	5,0	BOM
C11	92,8	2,4	BOM
T11	95,2	2,8	BOM
C12	92,4	2,8	BOM
T12	95,2	2,1	BOM
C13	93,1	2,0	BOM
T13	95,1	5,9	BOM
C14	89,2	10,3	BOM
T14	99,5	-	-
C15	100,1	3,7	BOM
T15	103,8	13,3	RAZOÁVEL
C16	90,6	4,6	BOM
T16	95,2	5,1	BOM
C17	90,0	7,1	BOM
T17	95,2	-	-
C18	97,1	4,4	BOM
T18	101,5	4,6	BOM
C19	96,9	3,7	BOM
T19	100,6	5,6	BOM
C20	95,0	5,6	BOM
T20	100,6	3,2	BOM
C21	95,9	-	-

5.9.4 Critério de Segurança III

Este critério analisa os aspectos dinâmicos do traçado, comparando os fatores de atrito assumidos e demandados, calculados pelas Equações (4.1) e (4.2), respectivamente.

Para a determinação da superelevação de cada curva do trecho de estudo, utilizou-se a diferença de cotas entre bordos no centro da curva, obtidas através do levantamento aerofotogramétrico a laser fornecido pela concessionária (Tabela 5.28).

Tabela 5.28 – Superelevação	
Seção	e (%)
C1	9,0
C2	5,9
C3	6,5
C4	2,0
C5	4,3
C6	5,0
C7	7,8
C8	7,7
C9	4,0
C10	7,0
C11	5,0
C12	6,5
C13	2,5
C14	6,3
C15	12,0
C16	6,1
C17	9,0
C18	8,5
C19	6,6
C20	9,2

O fator de atrito lateral assumido (f_{RA}) é calculado a partir da Equação (4.1), sendo uma função da velocidade de projeto (V_d). Dessa forma, temos:

$$f_{RA} = 0,33 - 2,69 \times 10^{-3} V_d + 0,84 \times 10^{-5} (V_d)^2$$

$$f_{RA} = 0,33 - 2,69 \times 10^{-3} \times 80 + 0,84 \times 10^{-5} (80)^2$$

$$f_{RA} = 0,16856$$

A partir dos dados de superelevação, raio de curvatura horizontal e velocidade operacional, calcula-se o fator de atrito lateral demandado (f_{RD}) a partir da Equação (4.2), conforme Tabela 5.29.

Tabela 5.29 – Cálculo do fator de atrito lateral demandado

Seção	e (%)	Raio (m)	V ₈₅ (km/h)	f _{RD}
C1	9,0	132,24	95,9	0,45723
C2	5,9	132,24	95,3	0,48134
C3	6,5	132,24	95,2	0,47511
C4	2,0	615,25	107,6	0,12819
C5	4,3	190,98	106,2	0,42219
C6	5,0	132,24	88,5	0,41662
C7	7,8	180,00	89,4	0,27140
C8	7,7	229,25	91,6	0,21088
C9	4,0	615,44	97,2	0,08079
C10	7,0	190,98	92,7	0,28413
C11	5,0	190,98	92,8	0,30475
C12	6,5	229,23	92,4	0,22821
C13	2,5	603,14	93,1	0,08814
C14	6,3	132,24	89,2	0,41056
C15	12,0	229,25	100,1	0,22429
C16	6,1	190,98	90,6	0,27720
C17	9,0	156,30	90,0	0,31815
C18	8,5	214,87	97,1	0,26076
C19	6,6	286,55	96,9	0,19206
C20	9,2	185,00	95,0	0,29195

Em seguida, para classificação de acordo com o critério de segurança III, calculou-se a diferença entre os fatores laterais de atrito assumido e demandado para cada curva do trecho de estudo (ver Tabela 5.30).

Tabela 5.30 – Classificação segundo o critério de segurança III

Seção	$f_{RA} - f_{RD}$	Classificação
C1	-0,28867	POBRE
C2	-0,31278	POBRE
C3	-0,30655	POBRE
C4	0,04037	BOM
C5	-0,25363	POBRE
C6	-0,24806	POBRE
C7	-0,10284	POBRE
C8	-0,04232	POBRE
C9	0,08777	BOM
C10	-0,11557	POBRE
C11	-0,13619	POBRE
C12	-0,05965	POBRE
C13	0,08042	BOM
C14	-0,24200	POBRE
C15	-0,05573	POBRE
C16	-0,10864	POBRE
C17	-0,14959	POBRE
C18	-0,09220	POBRE
C19	-0,02350	RAZOÁVEL
C20	-0,12339	POBRE

5.9.5 Resultados da Análise de Consistência

Após a classificação para cada critério de segurança individualmente, os três critérios são combinados de acordo com o módulo de segurança apresentado na Figura 4.2. Os resultados encontram-se na Tabela 5.31.

Tabela 5.31 – Combinação dos três critérios de segurança

Seção	Classificação			Pontuação			Σ
	Crit. I	Crit. II	Crit. III	Crit. I	Crit. II	Crit. III	
C1	RAZOÁVEL	BOM	POBRE	0	1	-1	0
T1	POBRE	BOM	-	-1	1		0
C2	RAZOÁVEL	BOM	POBRE	0	1	-1	0
T2	POBRE	BOM	-	-1	1		0
C3	RAZOÁVEL	BOM	POBRE	0	1	-1	0
T3	POBRE	BOM	-	-1	1		0
C4	POBRE	BOM	BOM	-1	1	1	1
T4	POBRE	BOM	-	-1	1		0
C5	POBRE	BOM	POBRE	-1	1	-1	-1
T5	POBRE	POBRE	-	-1	-1		-2
C6	BOM	BOM	POBRE	1	1	-1	1
T6	RAZOÁVEL	BOM	-	0	1		1
C7	BOM	BOM	POBRE	1	1	-1	1
T7	RAZOÁVEL	BOM	-	0	1		1
C8	RAZOÁVEL	BOM	POBRE	0	1	-1	0
T8	RAZOÁVEL	BOM	-	0	1		1
C9	RAZOÁVEL	BOM	BOM	0	1	1	2
T9	RAZOÁVEL	BOM	-	0	1		1
C10	RAZOÁVEL	BOM	POBRE	0	1	-1	0
T10	RAZOÁVEL	BOM	-	0	1		1
C11	RAZOÁVEL	BOM	POBRE	0	1	-1	0
T11	RAZOÁVEL	BOM	-	0	1		1
C12	RAZOÁVEL	BOM	POBRE	0	1	-1	0
T12	RAZOÁVEL	BOM	-	0	1		1
C13	RAZOÁVEL	BOM	BOM	0	1	1	2
T13	RAZOÁVEL	BOM	-	0	1		1
C14	BOM	RAZOÁVEL	POBRE	1	0	-1	0
T14	-	-	-	0	1		1
C15	POBRE	BOM	POBRE	-1	1	-1	-1
T15	POBRE	RAZOÁVEL	-	-1	0		-1
C16	RAZOÁVEL	BOM	POBRE	0	1	-1	0
T16	RAZOÁVEL	BOM	-	0	1		1
C17	RAZOÁVEL	BOM	POBRE	0	1	-1	0
T17	-	-	-				
C18	RAZOÁVEL	BOM	POBRE	0	1	-1	0
T18	POBRE	BOM	-	-1	1		1
C19	RAZOÁVEL	BOM	RAZOÁVEL	0	1	0	0
T19	POBRE	BOM	-	-1	1		0
C20	RAZOÁVEL	BOM	POBRE	0	1	-1	0
T20	POBRE	BOM	-	-1	1		0

Tabela 5.32 – Classificação de acordo com o módulo de segurança

Seção	Módulo de Segurança	
	Média	Classificação
C1	0,00	RAZOÁVEL
T1	0,00	RAZOÁVEL
C2	0,00	RAZOÁVEL
T2	0,00	RAZOÁVEL
C3	0,00	RAZOÁVEL
T3	0,00	RAZOÁVEL
C4	0,33	RAZOÁVEL
T4	0,00	RAZOÁVEL
C5	-0,33	RAZOÁVEL
T5	-1,00	POBRE
C6	0,33	RAZOÁVEL
T6	0,50	BOM
C7	0,33	RAZOÁVEL
T7	0,50	BOM
C8	0,00	RAZOÁVEL
T8	0,50	BOM
C9	0,67	BOM
T9	0,50	BOM
C10	0,00	RAZOÁVEL
T10	0,50	BOM
C11	0,00	RAZOÁVEL
T11	0,50	BOM
C12	0,00	RAZOÁVEL
T12	0,50	BOM
C13	0,67	BOM
T13	0,50	BOM
C14	0,00	RAZOÁVEL
T14	-	-
C15	-0,33	RAZOÁVEL
T15	-0,50	POBRE
C16	0,00	RAZOÁVEL
T16	0,50	BOM
C17	0,00	RAZOÁVEL
T17	-	-
C18	0,00	RAZOÁVEL
T18	0,00	RAZOÁVEL
C19	0,33	RAZOÁVEL
T19	0,00	RAZOÁVEL
C20	0,00	RAZOÁVEL
T20	0,00	RAZOÁVEL

Os gráficos a seguir apresentam um resumo dos resultados da avaliação de cada critério de segurança e da análise de consistência, ou seja, da quantidade de seções classificadas em BOM, RAZOÁVEL e POBRE para cada situação (Figura 5.16 a Figura 5.19).

Figura 5.16 – Classificação das seções segundo o critério de segurança I

Figura 5.17 – Classificação das seções segundo o critério de segurança II

Figura 5.18 – Classificação das seções segundo o critério de segurança III

Figura 5.19 – Classificação das seções após a análise de consistência

Para o critério de segurança I, a maioria das seções foram classificadas como RAZOÁVEL. Isto está de acordo com as medições de velocidade operacional de campo e com os resultados do modelo de previsão de velocidade operacional, já que as velocidades operacionais estão sempre superiores à velocidade de projeto e ao limite de velocidade estabelecido no trecho.

Já segundo a avaliação pelo critério de segurança II, quase todas as seções foram classificadas como BOM, isto é, as velocidades operacionais entre elementos sucessivos do alinhamento horizontal são homogêneas.

Com relação aos aspectos dinâmicos do alinhamento, o critério de segurança III classificou a maioria das seções como POBRE, ou seja, os fatores de atrito laterais assumidos e demandados possuem uma diferença significativa entre si. Em geral, o fator de atrito lateral demandado é superior ao assumido, o que pode estar relacionado com o grande número de saídas de pista no trecho de estudo no período de 2011 a 2013.

A análise de consistência classificou 11 seções como BOM, 25 seções como RAZOÁVEL e apenas 2 seções como POBRE. Estas duas seções com problemas de consistência (tangentes T5 e T15) estão localizadas nos quilômetros 510 e 515.

5.10 COMPARAÇÃO ENTRE OS LOCAIS DE ACIDENTES E SEÇÕES INCONSISTENTES

Conforme detalhado no item 5.2, verificou-se que os locais com maior índice de acidentes concentram-se nos quilômetros 511 e 514, tendo a saída de pista como o principal tipo de acidente.

A análise de consistência identificou 2 tangentes com inconsistências: tangente T5, está localizada no final do quilômetro 510 (Figura 5.20), e tangente T15 no início do quilômetro 515.

A tangente T5 foi classificada como POBRE no primeiro critério de segurança pois sua velocidade operacional é 33% superior à velocidade de projeto. Já no segundo critério de segurança, foi classificada como RAZOÁVEL, já que a velocidade operacional da curva seguinte (curva C6) é 20% menor.

Figura 5.20 – Localização da tangente T5

O quilômetro 510 não apresenta um alto índice de acidentes. Porém, a região do km 511+000 (curva C6) concentra 86% dos acidentes do quilômetro, principalmente dos tipos saída de pista e choque contra defesa, barreira ou submarino. A grande diferença entre as velocidades operacionais e de projeto e a necessidade de redução de velocidade entre a tangente e a curva podem estar relacionadas com o alto índice de acidentes no quilômetro 511+000.

A tangente T15 também foi classificada como POBRE no primeiro critério de segurança, já que sua velocidade operacional é 27% superior à velocidade de projeto. Para o critério de segurança II, foi classificada como RAZOÁVEL, pois a velocidade operacional da curva seguinte (curva C16) é 12% menor.

O quilômetro 515 é o quarto com maior número de acidentes, porém bastante inferior aos quilômetros 511 e 514. Assim como na tangente T5, a diferença entre velocidades pode contribuir para a ocorrência de acidentes neste local.

A região do quilômetro 514, especialmente 514+800 e 514+900 que concentram o maior número de acidentes do quilômetro, está localizada na curva C14, que foi classificada como RAZOÁVEL. Porém, para o critério de segurança III, esta curva foi classificada como POBRE devido à diferença entre os fatores de atrito laterais assumido e demandado.

6 CONCLUSÕES

A análise de consistência é amplamente reconhecida como uma maneira eficiente de melhorar a segurança das rodovias. Seu objetivo é evitar configurações de alinhamento da via que possam surpreender os motoristas, levando-os a dirigir de modo inseguro.

A falta de consistência no projeto geométrico da via está relacionada a uma das principais causas para a ocorrência de acidentes que, por sua vez, está diretamente relacionada com a segurança de tráfego.

O principal indicador utilizado para avaliar a consistência é a velocidade operacional, considerada o parâmetro mais expressivo do comportamento do motorista, representada pelo 85º percentil do perfil de velocidades. O método dos critérios de segurança de Lamm et al. (1999) utiliza a V_{85} para análise da consistência de projeto, comparando as velocidades operacional e de projeto em cada elemento do alinhamento e para elementos sucessivos do alinhamento.

Em pesquisas de avaliação de consistência de traçado (TRENTIN, 2007; GONÇALVES, 2011), os dados utilizados restringem-se às velocidades operacionais dos veículos de passeio, inclusive em pesquisas recentes com a utilização de simuladores de condução (XING; HUASEN; GUO, 2007, BELLA; DAGOSTINI, 2010).

O objetivo desta pesquisa consistia na análise de consistência de um trecho de uma rodovia de múltiplas faixas com alto índice de acidentes. Inicialmente, foram analisados dados de acidentes e as características geométricas da via para determinação dos pontos de medição de velocidade. Em seguida, desenvolveu-se um modelo de previsão de velocidade operacional para o trecho de estudo. De posse deste modelo, procedeu-se a análise de consistência através do método dos critérios de segurança. Finalmente, verificou-se se os pontos que apresentaram problemas de consistência correspondiam aqueles com maior índice de acidentes.

A análise dos dados de acidentes identificou duas regiões principais com maior ocorrência: quilômetros 511 e 514. Os principais tipos de acidentes do trecho são

saída de pista, capotamento e tombamento. Durante o período analisado, 2011 a 2013, houve uma diminuição do número de saídas de pista e um aumento de tombamentos. Com relação aos veículos envolvidos, verificou-se que ocorreu um decréscimo do número total de veículos e também na diferença entre veículos de passeios e comerciais: em 2011, havia 156 veículos de passeio envolvidos contra 69 comerciais, contra 44 veículos de passeio para 48 comerciais em 2013. Em geral, os veículos de passeio se envolvem mais em saídas de pista e capotamentos, enquanto os caminhões e carretas sofrem na sua maioria colisões e tombamentos.

Em uma primeira análise, os dados de velocidade coletados em campo indicam que a velocidade operacional (V_{85}) é superior à velocidade de projeto e ao limite de velocidade estabelecido no trecho de estudo (80 km/h para veículos leves e 60 km/h para veículos pesados).

A equação do modelo de previsão de velocidade desenvolvido para esta pesquisa, através de medições de velocidades em campo, indica que a velocidade operacional sofre maior influência dos elementos do alinhamento vertical (rampa) do que do alinhamento horizontal para o trecho de estudo.

Com relação à análise de consistência através dos critérios de segurança, o critério de segurança I classificou a maioria das seções como RAZOÁVEL. Isto está de acordo com as medições de velocidade operacional de campo e com os resultados do modelo de previsão de velocidade operacional, já que as velocidades operacionais estão sempre superiores à velocidade de projeto e ao limite de velocidade estabelecido no trecho.

Já segundo a avaliação pelo critério de segurança II, quase todas as seções foram classificadas como BOM, isto é, as velocidades operacionais entre elementos sucessivos do alinhamento horizontal são homogêneas.

Com relação aos aspectos dinâmicos do alinhamento, o critério de segurança III classificou a maioria das seções como POBRE, ou seja, os fatores de atrito laterais assumidos e demandados possuem uma diferença significativa entre si. Em geral, o fator de atrito lateral demandado é superior ao assumido. Este fato pode estar

relacionado com o aumento do número de tombamentos de caminhões no trecho de estudos no período de 2011 a 2013. Se ocorre o tombamento, o fator de atrito transversal e a velocidade são altos: as rodas internas se levantam quando a força de atrito é alta, “segurando” as rodas externas e impedindo que o caminhão deslize para fora da rodovia.

A análise de consistência do trecho de estudo identificou a maioria das seções do trecho como RAZOÁVEL e apenas 2 seções com problemas de consistência: tangentes T5 e T15.

A primeira tangente precede uma curva que concentra grande parte dos acidentes do trecho (km 511+000), que podem estar relacionados com a necessidade de redução de velocidade entre a tangente e a curva. A outra tangente está localizada em uma região com uma concentração razoável de acidentes, porém não tão significativa.

Já no quilômetro 514, não foram identificados pontos com inconsistências de projeto. Porém, a curva com maior índice de acidentes foi classificada como POBRE no critério de segurança III, o que pode estar relacionado com o aumento de tombamentos.

7 RECOMENDAÇÕES

A rodovia utilizada para este estudo apresenta elevado volume de veículos comerciais, principalmente caminhões e carretas, incluindo combinações de veículos de carga (CVCs). Portanto, seria importante a análise da relação entre os centros de gravidade destes veículos, as velocidades praticadas por eles e as superelevações existentes, uma vez que o número de tombamentos é crescente nesta rodovia.

Conforme descrito anteriormente, a equação do modelo de previsão de velocidade mostra que a rampa vertical exerce maior influência sobre a velocidade operacional para o trecho de estudo, uma rodovia de múltiplas faixas com predominância de rampas ascendentes em torno de 6%. Seria interessante estender a pesquisa para outros trechos de múltiplas faixas com rampas menores (ascendentes e descendentes) para verificar se esta situação se repete para os demais casos.

Além disso, também seria necessário estudar novos modelos de previsão de velocidades adaptados às características das rodovias e dos condutores brasileiros, que levem em consideração outros parâmetros tais como largura da faixa, acostamento, etc., e modelos para velocidades operacionais de veículos pesados, já que a maioria do transporte de carga realizado no país ocorre pelas rodovias.

Com relação aos acidentes de trânsito, alguns estudos afirmam que o erro do condutor contribui significativamente para a ocorrência de colisões, porém, estas tendem a ocorrer em maior número em segmentos específicos da rodovia. (HASSAN; MISAGHI; AWATTA, 2005). Isto implica que as características geométricas da via apresentam um papel fundamental na ocorrência de acidentes. Dessa forma, seria de extrema importância o desenvolvimento de novas pesquisas que objetivem a investigação das causas dos acidentes em rodovias brasileiras (pista simples e múltiplas faixas), sob os aspectos do comportamento do condutor, características dos veículos e da vias.

Enfim, novos estudos sobre a relação entre velocidades operacionais, consistência de projeto e ocorrência de acidentes são essenciais no país, onde os acidentes de trânsito são responsáveis por milhares de mortes e feridos.

REFERÊNCIAS

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**. Washington D.C., 2011.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). **Highway Safety Manual**. Washington D.C., 2010.

BELLA, F., D'AGOSTINI, G. Driving simulation for design consistency. In: FOURTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF HIGHWAY GEOMETRIC DESIGN, 2010, Valencia.

CAMACHO-TORREGOSA, F. J., PÉREZ-ZURIAGA, A. M., CAMPOY-UNGRÍA, J. M., GARCÍA, A. New Geometric Design Consistency Model Based on Operating Speed Profiles for Road Safety Evaluation. **Accident Analysis and Prevention**. Volume 61, p. 33-42, 2012.

CANALE, A. C. **Automobilística – Dinâmica e Desempenho**. Livros Érica Editora, São Paulo, 1989.

CHENGCHENG T., JIANJUN Z. Highway Safety Enhancement Project in China. **Routes/Roads**, nº 360, 2013.

Confederação Nacional do Transporte (CNT). **Pesquisa CNT de rodovias 2013**: relatório gerencial. Brasília, 2013, 389 p.

CUNTO, F., SOBREIRA, L., FERREIRA, S. Assessing the Transferability of the Highway Safety Manual Predictive Method for Urban Roads in Fortaleza City, Brazil. **Journal of Transportation Engineering**. Volume 141, 2015.

Departamento de Estradas de Rodagem (DER). **Notas Técnicas de Projeto Geométrico**. Diretoria de Engenharia, São Paulo, 2006.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico, Rio de Janeiro, 1999.

Departamento Nacional de Transito (DENATRAN). Plano Nacional de Redução de Acidentes e Segurança Viária para a Década 2011 – 2020, Proposta Preliminar. Brasília, 2010. Disponível em:

<<http://www.denatran.gov.br/download/Plano%20Nacional%20de%20Redu%C3%A7%C3%A3o%20de%20Acidentes%20-%20Comite%20-%20Proposta%20Preliminar.pdf>>. Acesso em 27 de junho de 2014.

Federal Highway Administration (FHWA). **Mitigation strategies for design exceptions**. Report FHWA-SA-07-011, Washington DC, 2007.

FERRAZ, A. C. P., et al. **Segurança Viária**. Suprema Gráfica e Editora. São Carlos, 2012.

FITZPATRICK, K., et al. **Evaluation of design consistency methods for two-lane rural highways, executive summary**. Federal Highway Administration. Report FHWA-RD-99-173. Washington DC, 2000a.

FITZPATRICK, K., et al. **Speed prediction for two-lane rural highways**. Federal Highway Administration. Report FHWA-RD-99-171. Washington DC, 2000b.

FITZPATRICK, K., et al. **Geometric design consistency on high-speed rural two-lane roadways**. National Cooperative Highway Research Program Report 502. Transportation Research Board, Washington, DC, 2003.

GARCIA, D. S. P. **Método para análise da consistência geométrica de rodovias brasileiras de pista simples**. 2008. 353 p. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

GIBREEL, G. M. et al. State of the art of highway geometric design consistency. **Journal of Transportation Engineering**, Volume 125, No. 4, pg 305-313, 1999.

GONÇALVES, A. B. **Estudo da velocidade operacional dos veículos em trechos viários de rodovias rurais de pista simples**. 2011. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2011.

GONG, H., STAMATIADIS, N. Operating Speed Prediction Models for Horizontal Curves on Rural Four-Lane Highways. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**. Volume 2075, pg 1-7, TRB, National Research Council, Washington, DC, 2008.

HASSAN, Y., MISAGHI, P., AWATTA, M. Speed-Based Measures for Evaluation of Design Consistency on Canadian Roads. 3rd International Symposium on Highway Geometric Design, 2005.

KHAN, G. et al. Horizontal Curves, Signs, and Safety. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**. Volume 2279, pg 124-131, TRB, National Research Council, Washington, DC, 2012.

KIM, S., CHOI, J. Effects of preceding geometric conditions on operating speed consistency of multilane highways. **Canadian Journal of Civil Engineering**. Volume 40, pg 528-536, NCR Research Press. Canada, 2013.

KRAMMES, R. A. et al. **Horizontal alignment design consistency for rural two-lane highways**. Federal Highway Administration. Report FHWA-RD-94-034. Virginia, 1995.

LAMM, R. PSARIANOS, B., MAILAENDER, T. **Highway design and traffic safety engineering handbook**. McGraw-Hill Professional Publishing. 1999, 1088 p.

LAMM, R. et al. Driving dynamic aspects and related safety issues for modern geometric design of non-built-up roads. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**. Volume 1523, pg 34-45. TRB, National Research Council, Washington, DC, 1996.

McFADDEN, J., ELEFTERIADOU, L. Evaluating Horizontal Alignment Design Consistency of Two-Lane Rural Highways - Development of New Procedure.

Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. Volume 1737, pg 9-17. TRB, National Research Council, Washington, DC, 2007.

NG, J. C. W., SAYED, T. Effect of geometry design consistency on road safety. **Canadian Journal of Civil Engineering**. Volume 31, pg 218-227. NCR Research Press. Canadá, 2004.

NODARI, C. L. **Método de avaliação da segurança potencial de segmentos rodoviários rurais de pista simples**. 2003. 221 f. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

Notas de aula da disciplina PTR-5725, ministrada pelo Prof. Felipe Issa Kabbach Jr.

OTTENSEN, J. L., KRAMMES, R. A. Speed-profile model for a design-consistency evaluation procedure in the United States. **Transportation Research Record:** Journal of the Transportation Research Board. Volume 1701, pg 76-85. TRB, National Research Council, Washington, DC, 1994.

PENG, Y., GEEDIPALLY, S. R., LORD, D. Investigating the effect of roadside features on single-vehicle roadway departure crashes on rural two-lane roads. **Transportation Research Record:** Journal of the Transportation Research Board. Volume 2759, pp. 21-29. TRB, National Research Council, Washington, DC, 2012.

POLUS A., MATTAR-HABIB, C. New Consistency Model for Rural Highways and its Relationship to Safety. **Journal of Transportation Engineering**. Volume 130, p. 286-293, 2004.

RABAY, F. L., et al. Uso de simuladores de direção aplicado ao projeto de segurança viária. **Boletim de Ciências Geodésicas**. Volume 19, n 2, p. 341-352, 2013.

SILVA, K. C. R. **Aplicação do modelo de previsão de acidentes do HSM em rodovias de pista simples do Estado de São Paulo**. 2011. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SOUZA, M. L. R. de. **Procedimento para avaliação de projetos de rodovias rurais visando a segurança viária**. 2012. 206 p. Dissertação (Mestrado em Transportes). Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2012.

TRENTIN, L. C. **Análise crítica de modelos de verificação de consistência de traçado**. 2007. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

WANG, Y., XU, G., BAI, H. Operating speed based alignment consistency evaluation using driving simulator: Case studies from Taigan freeway in Jiangxi, China. **PROMET – Traffic and Transportation**, Volume 25, Nº 1, pp 1-8, local, 2013.

World Health Organization (WHO). Global Status Report on Road Safety 2013: Supporting a Decade of Action. Disponível em:
<http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2013/en/>.

APÊNDICE A – DADOS DE CAMPO PARA CÁLCULO DA VELOCIDADE OPERACIONAL

km 509+400

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
54,6	1	0,38%	42,1	1	0,38%
55,9	1	0,77%	56,6	1	0,77%
60,2	1	1,15%	58,2	1	1,15%
61,7	1	1,53%	58,6	1	1,54%
62,4	1	1,92%	60,9	1	1,92%
63,2	2	2,68%	61	1	2,31%
63,4	2	3,45%	61,4	1	2,69%
63,6	1	3,83%	61,9	1	3,08%
64,6	1	4,21%	62,8	1	3,46%
65	1	4,60%	63	2	4,23%
65,1	1	4,98%	63,2	1	4,62%
65,2	2	5,75%	63,5	1	5,00%
65,4	1	6,13%	63,7	1	5,38%
65,5	1	6,51%	63,8	1	5,77%
65,6	1	6,90%	65,1	1	6,15%
65,8	1	7,28%	65,4	1	6,54%
66	1	7,66%	65,6	2	7,31%
66,2	1	8,05%	65,8	1	7,69%
66,4	2	8,81%	65,9	1	8,08%
66,5	1	9,20%	66,5	1	8,46%
67,3	1	9,58%	66,8	1	8,85%
67,9	1	9,96%	67,2	1	9,23%
68,1	1	10,34%	67,3	1	9,62%
68,2	1	10,73%	67,4	1	10,00%
68,6	1	11,11%	68	1	10,38%
68,7	1	11,49%	68,1	1	10,77%
68,8	1	11,88%	68,2	1	11,15%
69	2	12,64%	68,3	2	11,92%
69,1	4	14,18%	68,4	1	12,31%
69,3	1	14,56%	69	1	12,69%
69,4	1	14,94%	69,4	1	13,08%
69,5	1	15,33%	69,5	1	13,46%
69,8	1	15,71%	69,6	3	14,62%
69,9	1	16,09%	69,9	4	16,15%
70,3	2	16,86%	70,2	1	16,54%
70,4	1	17,24%	70,5	1	16,92%
70,5	2	18,01%	70,9	1	17,31%

Continua

Continuação

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
70,8	1	18,39%	71	1	17,69%
70,9	1	18,77%	71,2	1	18,08%
71,4	2	19,54%	71,9	1	18,46%
71,5	1	19,92%	72	3	19,62%
71,6	2	20,69%	72,2	1	20,00%
71,7	2	21,46%	72,6	1	20,38%
71,8	1	21,84%	72,7	2	21,15%
72	1	22,22%	72,8	1	21,54%
72,3	1	22,61%	73,1	1	21,92%
72,4	1	22,99%	73,2	1	22,31%
72,5	1	23,37%	73,5	2	23,08%
72,6	1	23,75%	73,6	3	24,23%
72,7	1	24,14%	73,8	4	25,77%
72,9	1	24,52%	73,9	1	26,15%
73	2	25,29%	74	2	26,92%
73,1	2	26,05%	74,1	4	28,46%
73,3	3	27,20%	74,3	2	29,23%
73,5	1	27,59%	74,4	2	30,00%
73,6	1	27,97%	74,5	2	30,77%
74	2	28,74%	74,6	1	31,15%
74,2	1	29,12%	74,8	2	31,92%
74,3	1	29,50%	75	1	32,31%
74,4	2	30,27%	75,1	3	33,46%
74,7	1	30,65%	75,3	2	34,23%
74,8	2	31,42%	75,5	1	34,62%
74,9	2	32,18%	75,6	2	35,38%
75	1	32,57%	75,7	1	35,77%
75,1	1	32,95%	75,8	1	36,15%
75,2	1	33,33%	76,1	1	36,54%
75,3	1	33,72%	76,2	1	36,92%
75,4	3	34,87%	76,3	1	37,31%
75,5	1	35,25%	76,5	1	37,69%
75,7	3	36,40%	76,6	1	38,08%
75,8	2	37,16%	76,7	2	38,85%
76	1	37,55%	76,8	1	39,23%
76,1	1	37,93%	76,9	1	39,62%
76,2	2	38,70%	77,1	1	40,00%
76,3	1	39,08%	77,2	4	41,54%
76,4	1	39,46%	77,4	3	42,69%
76,9	3	40,61%	77,5	3	43,85%
77	2	41,38%	77,6	2	44,62%

Continua

Continuação

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
77,1	3	42,53%	77,7	2	45,38%
77,2	1	42,91%	77,8	2	46,15%
77,3	1	43,30%	77,9	1	46,54%
77,4	2	44,06%	78,1	1	46,92%
77,8	1	44,44%	78,2	1	47,31%
78,4	1	44,83%	78,3	1	47,69%
78,6	1	45,21%	78,4	1	48,08%
78,7	4	46,74%	78,6	1	48,46%
78,8	2	47,51%	78,7	1	48,85%
79	1	47,89%	78,9	1	49,23%
79,1	1	48,28%	79	1	49,62%
79,4	3	49,43%	79,2	1	50,00%
79,7	4	50,96%	79,3	2	50,77%
79,8	2	51,72%	79,4	1	51,15%
80	2	52,49%	79,6	2	51,92%
80,1	2	53,26%	79,9	3	53,08%
80,3	3	54,41%	80	1	53,46%
80,5	2	55,17%	80,1	4	55,00%
80,6	1	55,56%	80,3	2	55,77%
80,7	1	55,94%	80,4	4	57,31%
80,8	2	56,70%	80,5	2	58,08%
81	2	57,47%	80,6	3	59,23%
81,1	1	57,85%	80,7	1	59,62%
81,2	2	58,62%	80,8	3	60,77%
81,4	1	59,00%	80,9	2	61,54%
81,5	1	59,39%	81,2	1	61,92%
81,6	1	59,77%	81,4	1	62,31%
81,8	1	60,15%	81,5	1	62,69%
81,9	1	60,54%	81,7	1	63,08%
82,2	2	61,30%	81,8	1	63,46%
82,3	1	61,69%	81,9	3	64,62%
82,4	2	62,45%	82,2	1	65,00%
82,5	2	63,22%	82,4	3	66,15%
82,8	3	64,37%	82,6	3	67,31%
82,9	3	65,52%	82,9	1	67,69%
83	3	66,67%	83	2	68,46%
83,1	3	67,82%	83,1	1	68,85%
83,3	2	68,58%	83,3	1	69,23%
83,4	1	68,97%	83,4	1	69,62%
83,6	1	69,35%	83,5	1	70,00%
83,7	1	69,73%	83,7	1	70,38%

Continua

Continuação

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
83,8	3	70,88%	83,8	1	70,77%
84,1	1	71,26%	83,9	3	71,92%
84,2	1	71,65%	84	1	72,31%
84,3	1	72,03%	84,5	1	72,69%
84,4	2	72,80%	84,6	1	73,08%
84,5	2	73,56%	84,7	1	73,46%
84,6	1	73,95%	84,8	2	74,23%
84,8	2	74,71%	85	2	75,00%
85	3	75,86%	85,1	3	76,15%
85,1	1	76,25%	85,3	1	76,54%
85,2	2	77,01%	85,4	1	76,92%
85,3	1	77,39%	85,6	1	77,31%
85,4	2	78,16%	85,9	2	78,08%
85,6	2	78,93%	86,3	1	78,46%
85,7	1	79,31%	86,4	1	78,85%
85,9	1	79,69%	86,6	1	79,23%
86,2	1	80,08%	86,7	1	79,62%
86,5	1	80,46%	86,8	1	80,00%
86,6	1	80,84%	87	1	80,38%
86,7	1	81,23%	87,3	1	80,77%
86,8	1	81,61%	87,4	1	81,15%
87,1	1	81,99%	87,7	1	81,54%
87,2	1	82,38%	87,8	1	81,92%
87,7	1	82,76%	87,9	1	82,31%
87,9	3	83,91%	88,4	2	83,08%
88,4	1	84,29%	88,6	2	83,85%
88,7	2	85,06%	89,5	1	84,23%
88,9	1	85,44%	89,6	1	84,62%
89	1	85,82%	89,7	1	85,00%
89,2	1	86,21%	89,8	1	85,38%
89,4	2	86,97%	90	2	86,15%
89,5	1	87,36%	90,1	1	86,54%
89,7	1	87,74%	90,2	1	86,92%
89,9	2	88,51%	90,3	1	87,31%
90,5	2	89,27%	90,5	1	87,69%
90,6	1	89,66%	90,6	1	88,08%
90,7	2	90,42%	90,7	1	88,46%
91,1	1	90,80%	91	1	88,85%
91,2	1	91,19%	91,1	1	89,23%
91,3	1	91,57%	91,8	2	90,00%
91,4	1	91,95%	91,9	1	90,38%

Continua

Conclusão

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
91,7	1	92,34%	92,1	1	90,77%
91,9	2	93,10%	92,3	1	91,15%
92	2	93,87%	92,9	1	91,54%
92,1	1	94,25%	93,1	1	91,92%
92,5	1	94,64%	93,3	1	92,31%
92,8	1	95,02%	93,5	1	92,69%
92,9	1	95,40%	93,8	1	93,08%
93,8	1	95,79%	93,9	1	93,46%
94,7	1	96,17%	94	1	93,85%
95	1	96,55%	94,4	1	94,23%
95,1	3	97,70%	94,5	1	94,62%
97,6	1	98,08%	95,1	1	95,00%
98	1	98,47%	95,2	1	95,38%
98,6	1	98,85%	95,8	1	95,77%
99,8	1	99,23%	96,1	1	96,15%
102,1	1	99,62%	96,4	1	96,54%
117,8	1	100,00%	96,9	1	96,92%
			98,2	1	97,31%
			99,5	1	97,69%
			99,6	1	98,08%
			100	1	98,46%
			100,4	1	98,85%
			104,3	1	99,23%
			105,9	1	99,62%
			106,3	1	100,00%

km 510+100

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
69,2	1	2,1%	63,5	1	2,1%
70,1	1	4,2%	69,2	1	4,2%
76,4	1	6,3%	72,2	1	6,3%
77,8	1	8,3%	72,4	1	8,3%
78,9	1	10,4%	73,7	1	10,4%
81	1	12,5%	78,5	1	12,5%
82,1	1	14,6%	80,8	1	14,6%
84,8	1	16,7%	84,3	1	16,7%
85,1	1	18,8%	84,5	1	18,8%
86,1	1	20,8%	85,3	1	20,8%
86,4	1	22,9%	85,5	1	22,9%
87,4	1	25,0%	87,5	1	25,0%
87,8	1	27,1%	88,6	1	27,1%
89,1	1	29,2%	90,4	1	29,2%
89,6	1	31,3%	90,5	1	31,3%
89,8	1	33,3%	90,7	1	33,3%
90,6	1	35,4%	92	1	35,4%
90,7	1	37,5%	92,4	1	37,5%
90,8	1	39,6%	94,5	1	39,6%
91,3	1	41,7%	95	1	41,7%
92,6	1	43,8%	95,7	1	43,8%
93,1	1	45,8%	95,9	2	47,9%
94	1	47,9%	96,9	1	50,0%
95	1	50,0%	97,1	1	52,1%
96,9	1	52,1%	97,3	1	54,2%
97	1	54,2%	98,1	1	56,3%
98,3	2	58,3%	98,2	1	58,3%
98,4	1	60,4%	98,3	1	60,4%
99,4	1	62,5%	98,7	1	62,5%
99,6	1	64,6%	99,3	2	66,7%
101	1	66,7%	99,7	1	68,8%
101,5	1	68,8%	100	1	70,8%
101,8	1	70,8%	100,3	1	72,9%
102,5	1	72,9%	100,6	1	75,0%
103,9	1	75,0%	101,5	1	77,1%
104,3	1	77,1%	101,8	1	79,2%
105,2	1	79,2%	102,1	1	81,3%
107,3	1	81,3%	102,7	1	83,3%
107,6	1	83,3%	103,7	1	85,4%
109	1	85,4%	104,3	1	87,5%
109,1	1	87,5%	105,5	1	89,6%

Continua

Conclusão

Conjunto 1		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
109,8	1	89,6%
110,2	1	91,7%
113,5	1	93,8%
115,1	1	95,8%
126,2	1	97,9%
126,9	1	100,0%

Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
106,3	1	91,7%
107,5	1	93,8%
110,1	1	95,8%
111,7	1	97,9%
112	1	100,0%

km 511+100

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
47	1	0,46%	56,6	1	0,46%
53,8	1	0,92%	57,5	1	0,92%
56,5	1	1,38%	58	1	1,38%
57,4	1	1,84%	58,3	1	1,84%
58,6	1	2,30%	59,8	1	2,30%
58,9	1	2,76%	60,5	1	2,76%
59,2	1	3,23%	60,6	1	3,23%
59,7	1	3,69%	62	1	3,69%
60,6	1	4,15%	62,3	1	4,15%
62,1	1	4,61%	62,7	1	4,61%
63,4	1	5,07%	63	1	5,07%
64,4	1	5,53%	63,8	1	5,53%
64,6	1	5,99%	64,7	2	6,45%
65,4	1	6,45%	65,4	1	6,91%
65,8	1	6,91%	65,6	1	7,37%
66,5	3	8,29%	66	1	7,83%
66,6	1	8,76%	66,1	1	8,29%
66,8	1	9,22%	66,2	2	9,22%
67,1	1	9,68%	67,2	1	9,68%
67,8	1	10,14%	67,3	1	10,14%
68	1	10,60%	67,4	1	10,60%
68,5	2	11,52%	67,7	2	11,52%
69,1	1	11,98%	68	1	11,98%
69,4	1	12,44%	68,3	1	12,44%
69,5	1	12,90%	68,5	1	12,90%
69,7	1	13,36%	68,9	2	13,82%
69,8	1	13,82%	69,1	1	14,29%
69,9	1	14,29%	69,2	1	14,75%
70,5	3	15,67%	69,3	2	15,67%
71,2	2	16,59%	69,6	1	16,13%
71,3	2	17,51%	69,8	1	16,59%
71,5	2	18,43%	70	1	17,05%
71,7	1	18,89%	70,6	1	17,51%
71,8	1	19,35%	70,9	1	17,97%
71,9	1	19,82%	71	1	18,43%
72,3	2	20,74%	71,2	3	19,82%
72,4	1	21,20%	71,5	1	20,28%
72,5	1	21,66%	71,7	1	20,74%
73	2	22,58%	71,8	2	21,66%
73,1	2	23,50%	71,9	1	22,12%
73,7	1	23,96%	72,3	1	22,58%

Continua

Continuação

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
73,9	2	24,88%	72,4	1	23,04%
74	2	25,81%	72,5	1	23,50%
74,2	2	26,73%	72,7	1	23,96%
74,3	1	27,19%	72,9	1	24,42%
74,6	1	27,65%	73,3	1	24,88%
74,7	1	28,11%	73,5	1	25,35%
74,8	1	28,57%	73,7	1	25,81%
75,5	2	29,49%	73,8	1	26,27%
75,7	2	30,41%	73,9	2	27,19%
76	1	30,88%	74	1	27,65%
76,1	1	31,34%	74,1	1	28,11%
76,2	1	31,80%	74,3	2	29,03%
76,5	1	32,26%	74,4	1	29,49%
76,6	1	32,72%	74,5	1	29,95%
76,9	1	33,18%	74,8	1	30,41%
77	1	33,64%	75,1	2	31,34%
77,1	2	34,56%	75,2	2	32,26%
77,2	2	35,48%	75,4	1	32,72%
77,3	1	35,94%	75,5	1	33,18%
77,5	2	36,87%	75,7	1	33,64%
77,8	1	37,33%	76	1	34,10%
78	1	37,79%	76,1	1	34,56%
78,2	2	38,71%	76,2	1	35,02%
78,3	3	40,09%	76,4	1	35,48%
78,4	2	41,01%	76,5	2	36,41%
78,7	1	41,47%	76,8	3	37,79%
78,8	1	41,94%	76,9	1	38,25%
78,9	1	42,40%	77	2	39,17%
79,1	1	42,86%	77,1	1	39,63%
79,2	1	43,32%	77,4	2	40,55%
79,3	2	44,24%	77,6	2	41,47%
79,6	1	44,70%	77,7	2	42,40%
79,9	1	45,16%	78,2	4	44,24%
80	4	47,00%	78,4	1	44,70%
80,1	1	47,47%	78,5	2	45,62%
80,3	2	48,39%	78,6	1	46,08%
80,5	1	48,85%	78,7	1	46,54%
80,7	2	49,77%	79,1	2	47,47%
81	1	50,23%	79,3	1	47,93%
81,1	1	50,69%	79,6	2	48,85%
81,3	1	51,15%	79,8	3	50,23%

Continua

Continuação

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
81,4	2	52,07%	80	2	51,15%
81,5	2	53,00%	80,1	1	51,61%
81,7	1	53,46%	80,2	1	52,07%
81,8	2	54,38%	80,6	2	53,00%
81,9	2	55,30%	80,7	1	53,46%
82	2	56,22%	80,9	1	53,92%
82,1	1	56,68%	81	1	54,38%
82,2	1	57,14%	81,1	1	54,84%
82,4	3	58,53%	81,2	1	55,30%
82,6	2	59,45%	81,4	2	56,22%
82,8	1	59,91%	81,6	1	56,68%
82,9	1	60,37%	81,7	2	57,60%
83,1	3	61,75%	82	2	58,53%
83,2	3	63,13%	82,3	1	58,99%
83,7	2	64,06%	82,4	1	59,45%
83,8	2	64,98%	82,6	1	59,91%
83,9	1	65,44%	82,7	1	60,37%
84,1	1	65,90%	82,8	1	60,83%
84,2	1	66,36%	82,9	1	61,29%
84,3	1	66,82%	83	2	62,21%
84,4	1	67,28%	83,2	1	62,67%
84,5	1	67,74%	83,6	1	63,13%
84,6	1	68,20%	83,9	3	64,52%
84,8	2	69,12%	84,2	2	65,44%
84,9	1	69,59%	84,4	1	65,90%
85,1	2	70,51%	84,8	2	66,82%
85,2	2	71,43%	85	1	67,28%
85,4	3	72,81%	85,2	2	68,20%
85,5	1	73,27%	85,3	1	68,66%
85,7	1	73,73%	85,4	2	69,59%
85,9	1	74,19%	85,7	1	70,05%
86	2	75,12%	85,8	2	70,97%
86,2	2	76,04%	85,9	3	72,35%
86,4	1	76,50%	86,1	1	72,81%
86,5	1	76,96%	86,4	2	73,73%
87,2	1	77,42%	86,5	2	74,65%
87,4	1	77,88%	86,6	3	76,04%
87,5	1	78,34%	87	1	76,50%
87,7	1	78,80%	87,1	1	76,96%
87,8	1	79,26%	87,4	1	77,42%
88	1	79,72%	87,6	1	77,88%

Continua

Conclusão

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
88,6	1	80,18%	88	1	78,34%
88,7	1	80,65%	88,1	1	78,80%
88,8	1	81,11%	88,4	1	79,26%
88,9	1	81,57%	88,7	2	80,18%
89	2	82,49%	88,8	1	80,65%
89,1	1	82,95%	89,1	1	81,11%
89,4	1	83,41%	89,6	2	82,03%
89,6	1	83,87%	90	1	82,49%
89,7	2	84,79%	90,2	1	82,95%
90,5	1	85,25%	90,5	2	83,87%
90,6	2	86,18%	91,2	1	84,33%
90,9	2	87,10%	91,4	1	84,79%
91,5	1	87,56%	91,9	1	85,25%
91,6	1	88,02%	92	1	85,71%
91,8	1	88,48%	92,2	1	86,18%
92,1	1	88,94%	92,5	1	86,64%
92,4	3	90,32%	92,6	3	88,02%
92,6	1	90,78%	92,8	1	88,48%
92,7	1	91,24%	93,1	1	88,94%
93,2	1	91,71%	93,7	2	89,86%
94	1	92,17%	94	1	90,32%
94,8	2	93,09%	94,3	1	90,78%
94,9	1	93,55%	94,5	1	91,24%
95	1	94,01%	94,6	1	91,71%
95,1	1	94,47%	95,3	1	92,17%
95,2	1	94,93%	95,4	1	92,63%
95,7	1	95,39%	95,5	1	93,09%
95,8	1	95,85%	95,7	1	93,55%
95,9	1	96,31%	96,2	1	94,01%
96,8	1	96,77%	96,9	1	94,47%
96,9	2	97,70%	97	1	94,93%
99,8	1	98,16%	97,9	2	95,85%
100,3	1	98,62%	98,4	1	96,31%
100,5	1	99,08%	98,6	1	96,77%
104,7	1	99,54%	100,5	1	97,24%
105,7	1	100,00%	100,6	1	97,70%
			101	1	98,16%
			104,2	1	98,62%
			105,4	1	99,08%
			105,5	1	99,54%
			109,3	1	100,00%

km 511+800

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
28,6	1	0,68%	38,1	1	0,68%
37,2	1	1,37%	42,7	1	1,37%
41,1	1	2,05%	44	1	2,05%
41,7	1	2,74%	45,9	1	2,74%
44,6	1	3,42%	46,7	1	3,42%
47,1	1	4,11%	50	1	4,11%
49,9	1	4,79%	52	1	4,79%
50	1	5,48%	53,1	1	5,48%
52,1	1	6,16%	55,5	1	6,16%
54,1	1	6,85%	55,6	1	6,85%
55,9	1	7,53%	55,7	1	7,53%
57,4	1	8,22%	57,4	1	8,22%
57,7	1	8,90%	57,7	1	8,90%
57,9	1	9,59%	58,2	1	9,59%
58,3	1	10,27%	58,8	1	10,27%
58,4	1	10,96%	58,9	1	10,96%
58,5	1	11,64%	59,2	1	11,64%
58,7	3	13,70%	59,3	1	12,33%
59	1	14,38%	60	2	13,70%
60,3	1	15,07%	60,2	1	14,38%
61,5	1	15,75%	60,4	1	15,07%
62,9	1	16,44%	60,7	1	15,75%
64,3	1	17,12%	61,5	1	16,44%
64,4	1	17,81%	61,6	1	17,12%
64,5	1	18,49%	62,2	1	17,81%
64,7	1	19,18%	62,3	1	18,49%
64,9	1	19,86%	63,2	1	19,18%
65,4	1	20,55%	64,6	1	19,86%
66,1	1	21,23%	64,8	1	20,55%
66,3	1	21,92%	65	2	21,92%
66,8	1	22,60%	65,1	1	22,60%
67	3	24,66%	65,5	1	23,29%
67,6	1	25,34%	65,9	1	23,97%
67,9	1	26,03%	66,5	1	24,66%
68	1	26,71%	66,7	2	26,03%
68,1	1	27,40%	67	1	26,71%
68,3	1	28,08%	67,6	1	27,40%
68,4	1	28,77%	67,8	1	28,08%
68,5	1	29,45%	67,9	1	28,77%
68,7	2	30,82%	68	1	29,45%
68,9	1	31,51%	68,1	1	30,14%

Continua

Continuação

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
69	1	32,19%	68,4	1	30,82%
69,3	1	32,88%	68,7	1	31,51%
69,4	1	33,56%	69	1	32,19%
69,5	1	34,25%	69,3	1	32,88%
69,6	2	35,62%	69,7	2	34,25%
69,9	1	36,30%	69,8	1	34,93%
70	1	36,99%	70,1	1	35,62%
70,4	1	37,67%	70,3	2	36,99%
71,1	1	38,36%	70,4	1	37,67%
71,6	1	39,04%	70,7	1	38,36%
72	1	39,73%	70,8	2	39,73%
72,3	2	41,10%	71,1	1	40,41%
72,5	2	42,47%	71,6	1	41,10%
72,7	2	43,84%	72,3	1	41,78%
72,8	1	44,52%	72,5	1	42,47%
73	1	45,21%	72,6	1	43,15%
73,3	1	45,89%	72,7	1	43,84%
73,4	1	46,58%	73,2	1	44,52%
74	2	47,95%	73,3	1	45,21%
74,2	1	48,63%	74	1	45,89%
74,3	1	49,32%	74,6	1	46,58%
74,5	1	50,00%	74,7	1	47,26%
74,7	3	52,05%	74,8	1	47,95%
74,8	1	52,74%	75	1	48,63%
74,9	2	54,11%	75,4	2	50,00%
75,3	1	54,79%	75,6	2	51,37%
75,4	1	55,48%	75,8	1	52,05%
75,8	1	56,16%	77	1	52,74%
76,4	1	56,85%	77,1	1	53,42%
76,6	1	57,53%	77,2	1	54,11%
77,1	1	58,22%	77,4	1	54,79%
77,5	2	59,59%	77,6	1	55,48%
77,6	1	60,27%	77,8	1	56,16%
77,7	1	60,96%	78,2	1	56,85%
78,3	1	61,64%	79,4	1	57,53%
78,4	1	62,33%	79,6	1	58,22%
78,5	1	63,01%	79,7	1	58,90%
79,2	1	63,70%	79,8	1	59,59%
79,8	2	65,07%	80,5	1	60,27%
80,3	1	65,75%	81,3	3	62,33%
80,4	1	66,44%	81,6	1	63,01%

Continua

Continuação

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
80,5	1	67,12%	81,8	1	63,70%
81,3	1	67,81%	81,9	1	64,38%
81,4	1	68,49%	82	1	65,07%
81,7	1	69,18%	82,2	1	65,75%
81,8	1	69,86%	82,3	2	67,12%
82,2	1	70,55%	82,6	1	67,81%
82,6	1	71,23%	82,8	1	68,49%
82,7	1	71,92%	83,1	1	69,18%
82,8	1	72,60%	83,2	1	69,86%
83,5	1	73,29%	83,4	1	70,55%
84,1	2	74,66%	84,2	1	71,23%
84,6	1	75,34%	84,3	1	71,92%
84,9	1	76,03%	84,7	1	72,60%
85	1	76,71%	84,9	1	73,29%
85,3	1	77,40%	85,3	1	73,97%
85,7	1	78,08%	85,4	1	74,66%
85,9	1	78,77%	85,7	1	75,34%
86	1	79,45%	85,9	2	76,71%
86,3	1	80,14%	86	2	78,08%
86,4	1	80,82%	87,5	1	78,77%
86,6	2	82,19%	87,8	1	79,45%
87,2	1	82,88%	87,9	1	80,14%
87,4	1	83,56%	88,2	1	80,82%
87,5	1	84,25%	88,6	1	81,51%
87,9	1	84,93%	88,7	1	82,19%
88,5	1	85,62%	88,8	1	82,88%
88,7	1	86,30%	89	1	83,56%
90,2	1	86,99%	89,3	1	84,25%
90,6	1	87,67%	89,6	1	84,93%
92	1	88,36%	90,5	1	85,62%
92,1	1	89,04%	90,6	1	86,30%
92,8	1	89,73%	90,9	1	86,99%
93,1	1	90,41%	92,3	1	87,67%
94	1	91,10%	93,1	1	88,36%
94,1	1	91,78%	93,5	1	89,04%
94,2	1	92,47%	93,8	1	89,73%
94,3	1	93,15%	93,9	1	90,41%
94,8	1	93,84%	94	1	91,10%
99,7	1	94,52%	94,5	1	91,78%
99,8	1	95,21%	95,4	1	92,47%
100,7	1	95,89%	95,7	2	93,84%

Continua

Conclusão

Conjunto 1		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
101,8	1	96,58%
101,9	1	97,26%
102,9	1	97,95%
103,7	1	98,63%
105,4	1	99,32%
113	1	100,00%

Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
98,3	1	94,52%
101,6	1	95,21%
102,6	1	95,89%
102,7	1	96,58%
103	1	97,26%
103,5	1	97,95%
103,6	1	98,63%
108,6	1	99,32%
134,1	1	100,00%

km 513+600

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
30,8	1	0,72%	24,4	1	0,72%
36,6	1	1,44%	29,9	1	1,44%
40,3	1	2,16%	43,7	1	2,16%
40,5	1	2,88%	45,5	1	2,88%
41,8	1	3,60%	47,4	1	3,60%
43,2	1	4,32%	49,3	1	4,32%
43,3	1	5,04%	50,8	2	5,76%
43,4	1	5,76%	51	1	6,47%
46,7	1	6,47%	52,3	1	7,19%
48,4	1	7,19%	54,8	1	7,91%
49,9	1	7,91%	55,3	1	8,63%
51,1	1	8,63%	56,3	1	9,35%
55,1	1	9,35%	58	1	10,07%
56,3	1	10,07%	58,1	1	10,79%
56,9	1	10,79%	58,7	1	11,51%
57,7	1	11,51%	59,9	1	12,23%
58	2	12,95%	61,7	1	12,95%
58,7	1	13,67%	62,4	1	13,67%
58,9	1	14,39%	62,9	1	14,39%
59,6	1	15,11%	63,3	1	15,11%
59,7	1	15,83%	64,6	1	15,83%
60,6	1	16,55%	64,7	1	16,55%
61,6	1	17,27%	65	2	17,99%
61,9	1	17,99%	65,2	1	18,71%
62,8	1	18,71%	65,4	1	19,42%
63,6	1	19,42%	66,1	1	20,14%
63,7	1	20,14%	66,3	1	20,86%
64,9	1	20,86%	67,1	1	21,58%
65	2	22,30%	67,2	1	22,30%
65,2	1	23,02%	67,4	1	23,02%
65,6	1	23,74%	67,5	1	23,74%
66,2	2	25,18%	67,8	1	24,46%
66,8	1	25,90%	68	1	25,18%
67,2	1	26,62%	68,3	1	25,90%
67,5	1	27,34%	68,4	1	26,62%
67,7	2	28,78%	68,5	1	27,34%
68,6	1	29,50%	68,8	1	28,06%
69,1	1	30,22%	69	1	28,78%
69,3	1	30,94%	69,6	1	29,50%
69,8	1	31,65%	70,3	1	30,22%
70	1	32,37%	70,7	2	31,65%

Continua

Continuação

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
70,6	1	33,09%	71,2	1	32,37%
70,9	2	34,53%	72,1	1	33,09%
71,7	1	35,25%	72,4	1	33,81%
72	1	35,97%	73,6	3	35,97%
72,1	2	37,41%	74	1	36,69%
72,7	2	38,85%	74,1	1	37,41%
73,1	1	39,57%	74,5	1	38,13%
73,3	1	40,29%	75,2	2	39,57%
73,7	1	41,01%	75,6	2	41,01%
73,9	2	42,45%	75,9	2	42,45%
74,1	1	43,17%	76	1	43,17%
75	1	43,88%	76,3	2	44,60%
75,2	1	44,60%	76,5	2	46,04%
76	1	45,32%	76,7	1	46,76%
76,1	2	46,76%	77,2	2	48,20%
76,2	3	48,92%	78	1	48,92%
76,5	1	49,64%	78,3	1	49,64%
76,6	1	50,36%	78,4	1	50,36%
76,8	1	51,08%	78,5	1	51,08%
76,9	1	51,80%	78,9	1	51,80%
77,3	1	52,52%	79,2	1	52,52%
77,9	1	53,24%	79,5	1	53,24%
78,2	1	53,96%	80	1	53,96%
78,6	1	54,68%	80,2	1	54,68%
78,7	1	55,40%	80,3	1	55,40%
78,8	1	56,12%	80,9	1	56,12%
79	1	56,83%	81	1	56,83%
79,4	1	57,55%	81,2	2	58,27%
79,8	2	58,99%	81,4	1	58,99%
79,9	1	59,71%	81,5	1	59,71%
80,4	2	61,15%	81,8	1	60,43%
81	1	61,87%	81,9	1	61,15%
81,2	1	62,59%	82	2	62,59%
81,5	2	64,03%	82,1	1	63,31%
81,8	1	64,75%	82,2	1	64,03%
82,8	1	65,47%	82,7	1	64,75%
82,9	1	66,19%	83	1	65,47%
83,1	1	66,91%	83,5	1	66,19%
84	1	67,63%	83,7	1	66,91%
84,1	1	68,35%	83,9	1	67,63%
84,3	1	69,06%	84	1	68,35%

Continua

Conclusão

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
84,8	1	69,78%	84,2	1	69,06%
85,1	1	70,50%	84,5	1	69,78%
85,8	1	71,22%	84,6	1	70,50%
85,9	1	71,94%	85,2	2	71,94%
86,1	1	72,66%	85,4	1	72,66%
86,3	1	73,38%	85,6	1	73,38%
86,5	1	74,10%	86,3	1	74,10%
86,8	1	74,82%	86,4	1	74,82%
87,1	1	75,54%	86,6	1	75,54%
88,5	1	76,26%	86,9	1	76,26%
88,7	1	76,98%	87	1	76,98%
89,1	4	79,86%	87,1	1	77,70%
89,2	1	80,58%	87,4	1	78,42%
89,5	1	81,29%	87,6	2	79,86%
89,6	2	82,73%	87,8	2	81,29%
89,8	1	83,45%	88,5	1	82,01%
90,1	1	84,17%	90,2	1	82,73%
90,3	1	84,89%	90,7	1	83,45%
90,8	1	85,61%	91,1	1	84,17%
91,3	1	86,33%	92,2	1	84,89%
91,9	1	87,05%	92,3	1	85,61%
93,8	1	87,77%	92,6	1	86,33%
94,2	1	88,49%	93,9	1	87,05%
94,5	1	89,21%	95,2	1	87,77%
95,6	3	91,37%	95,4	1	88,49%
96,5	1	92,09%	95,7	1	89,21%
98,2	2	93,53%	96,7	1	89,93%
98,4	1	94,24%	97	1	90,65%
99,7	1	94,96%	98,9	1	91,37%
103,3	1	95,68%	99,9	2	92,81%
105,7	1	96,40%	100,8	1	93,53%
108,7	1	97,12%	102,1	1	94,24%
109,2	1	97,84%	103	1	94,96%
113,1	1	98,56%	103,4	1	95,68%
113,7	1	99,28%	103,9	1	96,40%
114,4	1	100,00%	107,7	1	97,12%
			108	1	97,84%
			115,9	1	98,56%
			116,5	1	99,28%
			117,6	1	100,00%

km 514+100

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
30,1	2	0,97%	28,9	1	0,49%
30,7	1	1,45%	29,3	1	0,97%
30,9	1	1,93%	31	1	1,46%
32,6	1	2,42%	32,2	1	1,94%
32,9	1	2,90%	32,9	1	2,43%
33	1	3,38%	34,5	1	2,91%
33,2	1	3,86%	34,8	1	3,40%
33,6	1	4,35%	35,1	1	3,88%
34,1	2	5,31%	35,6	1	4,37%
34,3	1	5,80%	35,7	1	4,85%
34,5	3	7,25%	36	1	5,34%
35,4	2	8,21%	36,3	1	5,83%
35,6	1	8,70%	37,1	1	6,31%
35,9	1	9,18%	37,5	1	6,80%
36,3	1	9,66%	37,8	2	7,77%
36,4	1	10,14%	38,4	1	8,25%
37,3	1	10,63%	39	1	8,74%
37,5	1	11,11%	39,8	1	9,22%
37,6	1	11,59%	40,4	2	10,19%
38,8	1	12,08%	40,5	2	11,17%
39,6	1	12,56%	40,6	1	11,65%
40,3	1	13,04%	40,7	1	12,14%
40,4	1	13,53%	41,8	1	12,62%
41,7	1	14,01%	41,9	1	13,11%
43,9	1	14,49%	42,2	2	14,08%
45,3	1	14,98%	43,2	2	15,05%
45,4	1	15,46%	43,6	1	15,53%
45,5	1	15,94%	43,8	1	16,02%
45,7	1	16,43%	45,2	1	16,50%
46,5	1	16,91%	45,4	1	16,99%
47	1	17,39%	45,5	1	17,48%
47,5	1	17,87%	45,8	2	18,45%
48,5	1	18,36%	46	1	18,93%
48,6	1	18,84%	46,2	1	19,42%
48,8	1	19,32%	46,5	1	19,90%
48,9	1	19,81%	47,4	1	20,39%
49,1	1	20,29%	48,3	1	20,87%
49,2	1	20,77%	49,4	2	21,84%
49,7	1	21,26%	49,8	1	22,33%
50,1	1	21,74%	52	1	22,82%
50,2	1	22,22%	52,1	1	23,30%

Continua

Continuação

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
51,2	1	22,71%	52,8	1	23,79%
51,5	1	23,19%	53,5	1	24,27%
53,2	2	24,15%	55,3	2	25,24%
53,4	1	24,64%	55,4	1	25,73%
53,5	1	25,12%	55,9	1	26,21%
53,6	1	25,60%	56,2	1	26,70%
54,1	1	26,09%	56,5	1	27,18%
54,5	1	26,57%	57,3	1	27,67%
55,5	1	27,05%	57,6	1	28,16%
56,4	1	27,54%	58	2	29,13%
56,9	1	28,02%	58,2	1	29,61%
57,3	1	28,50%	58,3	1	30,10%
57,7	1	28,99%	58,7	1	30,58%
58	1	29,47%	59,4	1	31,07%
58,4	2	30,43%	60,1	1	31,55%
59,1	1	30,92%	60,2	1	32,04%
60,2	1	31,40%	60,5	1	32,52%
60,8	1	31,88%	60,9	2	33,50%
61	1	32,37%	61,3	1	33,98%
61,3	1	32,85%	61,9	1	34,47%
61,9	1	33,33%	62	1	34,95%
62,2	1	33,82%	62,3	1	35,44%
62,8	1	34,30%	62,5	1	35,92%
62,9	1	34,78%	62,8	1	36,41%
63	1	35,27%	63	1	36,89%
63,1	1	35,75%	63,8	1	37,38%
63,2	1	36,23%	64	1	37,86%
63,4	1	36,71%	64,1	1	38,35%
63,8	2	37,68%	64,2	1	38,83%
64,2	1	38,16%	64,4	2	39,81%
64,7	1	38,65%	64,5	1	40,29%
64,8	1	39,13%	65,1	1	40,78%
65	1	39,61%	65,2	1	41,26%
65,7	1	40,10%	65,6	1	41,75%
66,6	1	40,58%	65,8	1	42,23%
67,3	1	41,06%	66,5	1	42,72%
67,6	1	41,55%	67	3	44,17%
67,7	1	42,03%	67,1	1	44,66%
67,8	1	42,51%	67,7	2	45,63%
68,3	1	43,00%	67,8	1	46,12%
68,4	1	43,48%	68,1	1	46,60%

Continua

Continuação

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
68,7	1	43,96%	68,2	1	47,09%
68,8	1	44,44%	68,3	2	48,06%
68,9	1	44,93%	68,4	2	49,03%
69	1	45,41%	68,5	1	49,51%
69,2	1	45,89%	68,7	2	50,49%
69,6	1	46,38%	69,1	3	51,94%
69,7	1	46,86%	69,3	1	52,43%
69,9	1	47,34%	69,6	1	52,91%
70	1	47,83%	69,7	1	53,40%
70,1	1	48,31%	70,2	1	53,88%
70,3	1	48,79%	70,3	1	54,37%
70,4	1	49,28%	70,5	1	54,85%
70,6	2	50,24%	71,4	1	55,34%
70,7	1	50,72%	71,9	1	55,83%
71,3	1	51,21%	72,7	1	56,31%
71,5	2	52,17%	74,1	1	56,80%
71,7	1	52,66%	74,2	1	57,28%
71,8	2	53,62%	74,3	1	57,77%
72,1	1	54,11%	74,5	1	58,25%
72,3	2	55,07%	74,6	1	58,74%
72,4	1	55,56%	74,8	1	59,22%
72,6	2	56,52%	75,1	1	59,71%
73,5	1	57,00%	75,2	1	60,19%
74,1	1	57,49%	75,5	1	60,68%
74,7	1	57,97%	75,8	1	61,17%
74,9	2	58,94%	76,2	1	61,65%
75,1	1	59,42%	76,6	1	62,14%
75,2	1	59,90%	77,5	1	62,62%
75,6	1	60,39%	77,7	1	63,11%
75,7	4	62,32%	78,2	1	63,59%
75,8	1	62,80%	78,4	1	64,08%
76	2	63,77%	78,8	2	65,05%
76,3	1	64,25%	79,3	2	66,02%
77,3	1	64,73%	79,5	1	66,50%
77,7	1	65,22%	80,3	1	66,99%
78,1	2	66,18%	80,7	2	67,96%
78,4	1	66,67%	80,8	1	68,45%
78,7	1	67,15%	80,9	2	69,42%
78,9	1	67,63%	81,9	1	69,90%
79,1	1	68,12%	82,2	1	70,39%
79,3	1	68,60%	82,4	1	70,87%

Continua

Continuação

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
80	1	69,08%	82,5	2	71,84%
80,3	1	69,57%	82,6	1	72,33%
80,8	1	70,05%	83	1	72,82%
80,9	2	71,01%	83,1	1	73,30%
81,2	1	71,50%	83,5	1	73,79%
81,4	1	71,98%	83,6	1	74,27%
81,6	1	72,46%	83,9	1	74,76%
81,7	3	73,91%	84,2	1	75,24%
82,4	1	74,40%	84,5	2	76,21%
82,8	1	74,88%	84,6	1	76,70%
83,1	1	75,36%	85	1	77,18%
83,6	1	75,85%	85,1	1	77,67%
84,4	1	76,33%	85,6	2	78,64%
84,9	1	76,81%	86,2	1	79,13%
86,3	1	77,29%	87,3	1	79,61%
86,6	1	77,78%	88,3	1	80,10%
86,7	1	78,26%	89,3	1	80,58%
86,9	1	78,74%	89,8	1	81,07%
87	1	79,23%	90	1	81,55%
87,3	1	79,71%	90,2	1	82,04%
87,4	1	80,19%	90,3	1	82,52%
87,5	1	80,68%	90,4	1	83,01%
88	2	81,64%	90,6	1	83,50%
88,2	1	82,13%	91,2	1	83,98%
88,6	1	82,61%	91,5	1	84,47%
89,7	1	83,09%	91,6	1	84,95%
89,9	1	83,57%	91,7	1	85,44%
90,5	1	84,06%	92,3	1	85,92%
91,1	1	84,54%	92,4	2	86,89%
92	1	85,02%	92,7	1	87,38%
92,2	1	85,51%	93	1	87,86%
92,3	1	85,99%	93,1	1	88,35%
92,6	1	86,47%	94	1	88,83%
94,2	1	86,96%	94,3	1	89,32%
94,4	1	87,44%	94,7	1	89,81%
94,7	1	87,92%	96,4	1	90,29%
95	1	88,41%	96,6	1	90,78%
95,1	1	88,89%	96,9	1	91,26%
95,2	1	89,37%	97,5	1	91,75%
95,6	1	89,86%	97,6	2	92,72%
96,6	1	90,34%	98,3	1	93,20%

Continua

Conclusão

Conjunto 1		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
96,7	1	90,82%
98,4	1	91,30%
98,7	1	91,79%
98,8	1	92,27%
99,2	1	92,75%
99,6	1	93,24%
100,4	1	93,72%
102	1	94,20%
103,1	1	94,69%
103,3	1	95,17%
103,5	1	95,65%
105,1	1	96,14%
105,5	1	96,62%
106,1	1	97,10%
106,4	1	97,58%
106,9	1	98,07%
107,1	1	98,55%
111,8	1	99,03%
118,3	1	99,52%
122,7	1	100,00%

Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
98,9	1	93,69%
99,5	1	94,17%
100	1	94,66%
101,3	1	95,15%
101,6	1	95,63%
103	1	96,12%
103,3	1	96,60%
103,9	1	97,09%
105,1	1	97,57%
105,9	1	98,06%
109,8	1	98,54%
110,7	1	99,03%
117,6	1	99,51%
120,7	1	100,00%

km 514+500

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
32,6	1	1,05%	37,8	1	1,06%
33,6	1	2,11%	38,4	1	2,13%
35,7	1	3,16%	39	1	3,19%
40	1	4,21%	39,7	1	4,26%
40,1	1	5,26%	41,2	1	5,32%
45,7	1	6,32%	44,4	1	6,38%
47,3	1	7,37%	49,7	1	7,45%
48,8	1	8,42%	50,6	1	8,51%
49,4	1	9,47%	51,1	1	9,57%
51,5	1	10,53%	51,4	1	10,64%
52,2	1	11,58%	52,6	1	11,70%
54,1	1	12,63%	53	1	12,77%
54,2	1	13,68%	56	1	13,83%
54,4	1	14,74%	56,2	1	14,89%
55,9	1	15,79%	56,9	1	15,96%
56,3	1	16,84%	58,3	1	17,02%
56,6	1	17,89%	59	1	18,09%
57,5	1	18,95%	59,4	1	19,15%
57,8	1	20,00%	60,4	2	21,28%
58,3	1	21,05%	60,7	2	23,40%
58,7	1	22,11%	61,3	1	24,47%
59,7	1	23,16%	61,4	2	26,60%
60,6	1	24,21%	61,6	1	27,66%
61	1	25,26%	63,2	1	28,72%
61,3	2	27,37%	63,3	1	29,79%
61,9	1	28,42%	64,5	1	30,85%
63,2	2	30,53%	67	1	31,91%
63,6	1	31,58%	67,5	1	32,98%
64,2	1	32,63%	68,5	1	34,04%
64,5	1	33,68%	68,7	1	35,11%
65	1	34,74%	69,2	1	36,17%
65,2	1	35,79%	69,3	1	37,23%
66,3	1	36,84%	69,5	1	38,30%
66,7	1	37,89%	69,6	1	39,36%
67,4	1	38,95%	70	1	40,43%
67,5	1	40,00%	70,3	1	41,49%
67,8	1	41,05%	70,9	1	42,55%
68,1	1	42,11%	71,5	1	43,62%
68,7	1	43,16%	72	1	44,68%
70,6	1	44,21%	72,2	2	46,81%
71,3	1	45,26%	72,3	1	47,87%

Continua

Continuação

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
71,8	1	46,32%	72,4	1	48,94%
72,1	1	47,37%	73,2	2	51,06%
72,6	1	48,42%	73,6	1	52,13%
73	1	49,47%	73,7	1	53,19%
73,5	1	50,53%	74,1	1	54,26%
73,6	2	52,63%	74,8	1	55,32%
74,6	1	53,68%	74,9	1	56,38%
74,9	1	54,74%	75	2	58,51%
75,3	2	56,84%	75,5	1	59,57%
75,7	2	58,95%	75,6	1	60,64%
76,2	1	60,00%	76,8	1	61,70%
76,7	1	61,05%	77,4	1	62,77%
76,8	1	62,11%	77,9	1	63,83%
77,8	1	63,16%	78,5	1	64,89%
78,3	1	64,21%	78,6	1	65,96%
78,4	1	65,26%	79,1	1	67,02%
78,6	1	66,32%	80	2	69,15%
80	2	68,42%	80,7	1	70,21%
80,7	1	69,47%	81,3	1	71,28%
80,8	2	71,58%	81,5	1	72,34%
81,6	1	72,63%	82,9	1	73,40%
82,2	1	73,68%	83,4	1	74,47%
83,6	1	74,74%	83,5	1	75,53%
84,5	1	75,79%	83,6	3	78,72%
85,2	1	76,84%	84	1	79,79%
87	1	77,89%	84,9	2	81,91%
88,7	2	80,00%	85,5	2	84,04%
89	1	81,05%	85,9	1	85,11%
92	1	82,11%	86,2	1	86,17%
92,1	1	83,16%	86,6	1	87,23%
95,9	1	84,21%	88	2	89,36%
96,9	1	85,26%	90	1	90,43%
97,1	1	86,32%	91,6	1	91,49%
97,2	1	87,37%	93,8	1	92,55%
97,3	1	88,42%	95,2	1	93,62%
97,4	1	89,47%	96,1	1	94,68%
97,5	1	90,53%	99,1	1	95,74%
97,6	2	92,63%	100,1	1	96,81%
97,7	1	93,68%	109,2	1	97,87%
106,3	1	94,74%	112,6	1	98,94%
115,8	1	95,79%	113,6	1	100,00%

Continua

Conclusão

Conjunto 1		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
116,3	1	96,84%
116,4	1	97,89%
118,5	1	98,95%
120,7	1	100,00%

Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)

km 515+200

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
36,7	1	2,13%	62,9	2	4,26%
70	1	4,26%	64	1	6,38%
70,6	1	6,38%	72	1	8,51%
72,3	1	8,51%	74,1	1	10,64%
72,8	1	10,64%	74,8	1	12,77%
74,2	1	12,77%	80,4	1	14,89%
75,2	1	14,89%	80,8	1	17,02%
75,5	1	17,02%	82,1	1	19,15%
76,4	1	19,15%	83,1	1	21,28%
79,1	1	21,28%	83,2	2	25,53%
79,4	1	23,40%	83,8	2	29,79%
79,5	1	25,53%	84,5	1	31,91%
82,5	1	27,66%	85,5	1	34,04%
83,8	1	29,79%	88,4	1	36,17%
84,3	1	31,91%	88,9	1	38,30%
84,6	1	34,04%	89,8	1	40,43%
84,9	1	36,17%	90,3	1	42,55%
85,5	1	38,30%	91	2	46,81%
85,9	1	40,43%	91,6	1	48,94%
86,1	1	42,55%	91,8	1	51,06%
87	1	44,68%	92,5	1	53,19%
87,1	1	46,81%	92,8	1	55,32%
90,4	1	48,94%	92,9	1	57,45%
90,9	1	51,06%	93,9	1	59,57%
92,4	1	53,19%	94,1	1	61,70%
92,8	1	55,32%	95	1	63,83%
93,2	1	57,45%	95,2	1	65,96%
93,3	1	59,57%	96	1	68,09%
93,7	1	61,70%	96,8	2	72,34%
94,2	1	63,83%	96,9	1	74,47%
94,3	1	65,96%	98	1	76,60%
94,4	1	68,09%	98,5	1	78,72%
95,1	1	70,21%	99,8	1	80,85%
95,6	1	72,34%	101	1	82,98%
96,3	1	74,47%	102,5	1	85,11%
96,8	1	76,60%	102,8	1	87,23%
96,9	1	78,72%	103,6	2	91,49%
97,1	1	80,85%	104,9	1	93,62%
98,3	1	82,98%	106,7	1	95,74%
102,1	1	85,11%	107,4	1	97,87%
102,8	1	87,23%	109,9	1	100,00%

Continua

Conclusão

Conjunto 1		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
105,5	1	89,36%
107,4	1	91,49%
113,1	1	93,62%
118,5	1	95,74%
122,2	1	97,87%
122,3	1	100,00%

Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)

km 515+700

Conjunto 1		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
68,5	1	2,94%
71,5	1	5,88%
72,2	1	8,82%
72,6	1	11,76%
74,4	2	17,65%
75,4	1	20,59%
76,8	1	23,53%
77,1	1	26,47%
80,3	1	29,41%
82,3	1	32,35%
82,5	1	35,29%
83,2	1	38,24%
86,1	1	41,18%
86,2	1	44,12%
87,3	1	47,06%
87,9	1	50,00%
88	1	52,94%
88,1	1	55,88%
88,8	1	58,82%
89,1	1	61,76%
90	2	67,65%
90,5	1	70,59%
90,8	1	73,53%
91,3	1	76,47%
97,1	1	79,41%
99,2	1	82,35%
99,5	1	85,29%
102,5	1	88,24%
108,4	1	91,18%
111,9	1	94,12%
112,3	1	97,06%
122,9	1	100,00%

Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
65,2	1	2,94%
66,9	1	5,88%
67,7	1	8,82%
68,3	1	11,76%
69,7	1	14,71%
73,9	1	17,65%
74,5	1	20,59%
74,6	1	23,53%
75,8	1	26,47%
77,4	1	29,41%
78,4	1	32,35%
78,9	1	35,29%
79,8	1	38,24%
80,1	1	41,18%
81,2	1	44,12%
82,2	1	47,06%
82,3	1	50,00%
84,4	1	52,94%
87	1	55,88%
90,6	1	58,82%
90,9	2	64,71%
91,3	1	67,65%
93,6	1	70,59%
94,5	1	73,53%
95,4	1	76,47%
95,5	1	79,41%
97,2	1	82,35%
100,7	1	85,29%
101,9	1	88,24%
102,8	1	91,18%
108,1	1	94,12%
112,9	1	97,06%
118,6	1	100,00%

km 516+300

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
35,6	1	0,44%	36,9	2	0,88%
41,5	1	0,87%	38,8	1	1,32%
47,4	1	1,31%	39,5	1	1,75%
48,1	1	1,75%	44	1	2,19%
48,5	1	2,18%	44,1	1	2,63%
48,6	1	2,62%	45,3	1	3,07%
49,3	1	3,06%	47,2	1	3,51%
52,4	1	3,49%	51	1	3,95%
52,5	1	3,93%	52	1	4,39%
52,9	1	4,37%	53,3	1	4,82%
55,1	1	4,80%	54,2	1	5,26%
56,1	1	5,24%	55	1	5,70%
57,6	1	5,68%	55,1	1	6,14%
58	1	6,11%	55,2	1	6,58%
58,8	1	6,55%	55,9	1	7,02%
59,9	1	6,99%	56,1	1	7,46%
60,1	1	7,42%	56,3	1	7,89%
60,4	1	7,86%	56,9	1	8,33%
62,3	1	8,30%	57,6	1	8,77%
62,4	1	8,73%	59,6	1	9,21%
62,5	1	9,17%	60	1	9,65%
62,9	1	9,61%	60,2	1	10,09%
63,4	1	10,04%	61	2	10,96%
63,7	2	10,92%	61,4	1	11,40%
64,2	1	11,35%	61,5	1	11,84%
64,9	1	11,79%	61,9	1	12,28%
65,2	1	12,23%	63,2	1	12,72%
65,3	2	13,10%	63,3	1	13,16%
65,7	1	13,54%	63,5	2	14,04%
65,8	1	13,97%	63,7	1	14,47%
66,3	1	14,41%	64,4	1	14,91%
66,5	1	14,85%	64,8	1	15,35%
66,9	1	15,28%	64,9	1	15,79%
67,3	1	15,72%	65	1	16,23%
67,4	1	16,16%	65,6	1	16,67%
67,6	1	16,59%	65,7	1	17,11%
67,9	2	17,47%	65,9	1	17,54%
68,1	1	17,90%	66,1	1	17,98%
68,3	2	18,78%	66,2	1	18,42%
68,4	1	19,21%	66,5	2	19,30%
68,5	2	20,09%	66,6	1	19,74%

Continua

Continuação

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
68,7	2	20,96%	67,1	1	20,18%
68,8	2	21,83%	67,5	1	20,61%
68,9	1	22,27%	67,6	1	21,05%
69	1	22,71%	67,9	1	21,49%
69,1	1	23,14%	68	3	22,81%
69,4	1	23,58%	68,4	1	23,25%
69,5	1	24,02%	68,5	1	23,68%
69,6	2	24,89%	68,8	1	24,12%
69,7	1	25,33%	68,9	1	24,56%
70	1	25,76%	69,2	1	25,00%
70,1	2	26,64%	69,4	1	25,44%
70,3	2	27,51%	69,6	1	25,88%
70,4	1	27,95%	69,8	1	26,32%
70,5	3	29,26%	70	2	27,19%
70,8	1	29,69%	70,3	1	27,63%
70,9	1	30,13%	70,5	1	28,07%
71,2	1	30,57%	70,9	2	28,95%
71,6	2	31,44%	71,1	1	29,39%
71,7	1	31,88%	71,3	1	29,82%
71,9	1	32,31%	71,6	2	30,70%
72,2	2	33,19%	71,8	1	31,14%
72,3	2	34,06%	72,1	2	32,02%
72,7	1	34,50%	72,2	3	33,33%
72,8	2	35,37%	72,3	1	33,77%
73,3	2	36,24%	72,7	1	34,21%
73,4	1	36,68%	72,9	2	35,09%
73,5	2	37,55%	73,1	1	35,53%
73,6	2	38,43%	73,7	1	35,96%
73,8	3	39,74%	73,8	2	36,84%
74,1	2	40,61%	74,1	2	37,72%
74,4	1	41,05%	74,2	2	38,60%
74,6	2	41,92%	74,3	1	39,04%
74,8	1	42,36%	74,4	1	39,47%
75,2	2	43,23%	74,6	1	39,91%
75,5	2	44,10%	74,8	1	40,35%
75,6	1	44,54%	75,1	1	40,79%
75,7	1	44,98%	75,2	1	41,23%
75,8	3	46,29%	75,3	2	42,11%
76,1	1	46,72%	75,4	3	43,42%
76,2	1	47,16%	75,5	2	44,30%
76,3	2	48,03%	75,6	1	44,74%

Continua

Continuação

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
76,4	2	48,91%	75,8	2	45,61%
76,5	1	49,34%	75,9	1	46,05%
76,6	1	49,78%	76	1	46,49%
76,7	3	51,09%	76,4	2	47,37%
76,9	1	51,53%	76,5	1	47,81%
77,1	1	51,97%	76,9	1	48,25%
77,5	1	52,40%	77	2	49,12%
77,7	3	53,71%	77,5	1	49,56%
77,8	1	54,15%	78	1	50,00%
77,9	2	55,02%	78,1	1	50,44%
78,2	1	55,46%	78,3	1	50,88%
78,5	1	55,90%	78,4	1	51,32%
78,6	1	56,33%	78,6	1	51,75%
78,7	2	57,21%	78,7	3	53,07%
79	1	57,64%	78,8	1	53,51%
79,2	1	58,08%	78,9	4	55,26%
79,3	2	58,95%	79	1	55,70%
79,4	1	59,39%	79,1	1	56,14%
79,5	2	60,26%	79,2	1	56,58%
79,6	1	60,70%	79,3	1	57,02%
79,7	1	61,14%	79,5	2	57,89%
79,9	2	62,01%	79,7	1	58,33%
80,1	1	62,45%	79,8	1	58,77%
80,5	2	63,32%	79,9	1	59,21%
80,7	1	63,76%	80	2	60,09%
80,8	1	64,19%	80,3	1	60,53%
80,9	2	65,07%	80,7	2	61,40%
81	2	65,94%	80,8	1	61,84%
81,3	1	66,38%	80,9	2	62,72%
81,4	2	67,25%	81	2	63,60%
81,5	1	67,69%	81,2	1	64,04%
81,7	1	68,12%	81,4	1	64,47%
82	1	68,56%	81,7	1	64,91%
82,2	2	69,43%	81,8	3	66,23%
82,3	1	69,87%	81,9	1	66,67%
82,4	2	70,74%	82,1	1	67,11%
82,6	1	71,18%	82,2	1	67,54%
82,7	2	72,05%	82,3	1	67,98%
82,9	1	72,49%	82,4	1	68,42%
83,1	2	73,36%	82,5	2	69,30%
83,2	1	73,80%	82,7	1	69,74%

Continua

Continuação

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
83,3	1	74,24%	82,9	1	70,18%
83,4	1	74,67%	83,1	1	70,61%
83,6	3	75,98%	83,3	1	71,05%
83,9	1	76,42%	83,4	1	71,49%
84	1	76,86%	83,5	1	71,93%
84,2	1	77,29%	83,6	2	72,81%
84,3	2	78,17%	83,7	1	73,25%
84,4	1	78,60%	83,8	1	73,68%
84,7	1	79,04%	83,9	1	74,12%
84,8	1	79,48%	84,5	1	74,56%
85,3	1	79,91%	84,6	1	75,00%
85,4	1	80,35%	85,4	2	75,88%
85,7	1	80,79%	85,6	1	76,32%
85,8	1	81,22%	85,8	1	76,75%
86	2	82,10%	85,9	1	77,19%
86,5	1	82,53%	86	2	78,07%
86,6	1	82,97%	86,1	1	78,51%
86,9	1	83,41%	86,2	1	78,95%
87	1	83,84%	86,3	1	79,39%
87,1	1	84,28%	86,4	1	79,82%
87,2	3	85,59%	86,8	2	80,70%
87,3	1	86,03%	86,9	1	81,14%
87,4	1	86,46%	87,2	2	82,02%
87,5	1	86,90%	87,3	1	82,46%
87,8	1	87,34%	87,5	2	83,33%
88	1	87,77%	87,6	1	83,77%
88,1	3	89,08%	87,7	1	84,21%
88,6	1	89,52%	88,4	1	84,65%
89	1	89,96%	88,6	2	85,53%
89,1	2	90,83%	89,3	1	85,96%
89,3	1	91,27%	89,4	1	86,40%
89,6	1	91,70%	89,6	1	86,84%
89,8	1	92,14%	89,7	1	87,28%
90	1	92,58%	90	1	87,72%
90,2	1	93,01%	90,2	1	88,16%
90,7	1	93,45%	90,9	1	88,60%
90,8	2	94,32%	91,2	1	89,04%
90,9	2	95,20%	91,3	1	89,47%
91,5	1	95,63%	91,4	1	89,91%
92	2	96,51%	91,9	2	90,79%
92,3	1	96,94%	92,3	1	91,23%

Continua

Conclusão

Conjunto 1		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
93,1	1	97,38%
96,9	1	97,82%
98,5	1	98,25%
99	1	98,69%
99,5	1	99,13%
100	1	99,56%
100,6	1	100,00%

Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
92,6	1	91,67%
92,7	2	92,54%
92,9	1	92,98%
93,1	1	93,42%
93,2	1	93,86%
93,6	1	94,30%
93,7	1	94,74%
93,9	1	95,18%
94,6	1	95,61%
94,8	1	96,05%
95,7	1	96,49%
96,3	1	96,93%
97,8	1	97,37%
98	1	97,81%
99	1	98,25%
99,2	1	98,68%
100,9	1	99,12%
104,9	2	100,00%

km 518+100

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
25,4	2	1,15%	34,5	1	0,57%
27,2	1	1,72%	36,5	1	1,15%
36,6	1	2,30%	37,6	1	1,72%
44,2	1	2,87%	37,7	1	2,30%
45,2	1	3,45%	38,1	1	2,87%
46,8	1	4,02%	38,2	1	3,45%
47,3	1	4,60%	41,6	1	4,02%
48,7	1	5,17%	43,7	1	4,60%
50,1	1	5,75%	43,8	1	5,17%
51,2	1	6,32%	44,9	1	5,75%
52,1	1	6,90%	46,5	1	6,32%
53,8	1	7,47%	49,3	1	6,90%
54,3	2	8,62%	50	1	7,47%
54,8	1	9,20%	50,5	1	8,05%
54,9	1	9,77%	51,1	1	8,62%
55,5	1	10,34%	51,9	1	9,20%
56,3	1	10,92%	52,7	1	9,77%
57	1	11,49%	53,9	1	10,34%
57,5	1	12,07%	54,2	1	10,92%
57,8	1	12,64%	55,8	1	11,49%
57,9	1	13,22%	59,6	1	12,07%
58,5	1	13,79%	59,8	1	12,64%
58,6	1	14,37%	60,5	1	13,22%
59,7	1	14,94%	61,2	1	13,79%
59,9	1	15,52%	61,6	1	14,37%
60,9	1	16,09%	61,9	1	14,94%
61,4	1	16,67%	62,8	1	15,52%
61,9	2	17,82%	63	1	16,09%
62,3	1	18,39%	63,9	1	16,67%
63,7	1	18,97%	64	1	17,24%
63,9	1	19,54%	64,2	1	17,82%
64,1	1	20,11%	64,5	2	18,97%
64,2	1	20,69%	64,7	1	19,54%
64,4	1	21,26%	65,5	1	20,11%
65,8	1	21,84%	65,7	1	20,69%
66	1	22,41%	65,8	1	21,26%
66,3	1	22,99%	66	1	21,84%
66,6	1	23,56%	66,2	1	22,41%
66,7	1	24,14%	66,6	1	22,99%
67	1	24,71%	67,1	1	23,56%
67,2	2	25,86%	67,2	1	24,14%

Continua

Continuação

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
67,3	1	26,44%	67,6	1	24,71%
68,1	1	27,01%	68	2	25,86%
68,5	1	27,59%	68,8	1	26,44%
68,7	1	28,16%	69	1	27,01%
69,1	1	28,74%	69,4	2	28,16%
69,3	1	29,31%	70	2	29,31%
69,6	1	29,89%	70,2	2	30,46%
69,8	1	30,46%	70,3	1	31,03%
70	1	31,03%	70,6	1	31,61%
70,8	1	31,61%	70,9	1	32,18%
70,9	1	32,18%	71	1	32,76%
71	1	32,76%	71,1	1	33,33%
71,6	1	33,33%	71,5	1	33,91%
71,7	1	33,91%	71,7	1	34,48%
71,9	1	34,48%	72,4	1	35,06%
72,1	1	35,06%	72,6	1	35,63%
72,5	1	35,63%	73,1	2	36,78%
72,8	1	36,21%	73,4	1	37,36%
72,9	1	36,78%	74,1	1	37,93%
73,1	1	37,36%	74,7	1	38,51%
73,2	1	37,93%	75	1	39,08%
74,4	1	38,51%	75,2	3	40,80%
74,9	2	39,66%	75,3	1	41,38%
75,4	1	40,23%	75,5	1	41,95%
76,2	2	41,38%	75,8	1	42,53%
76,4	1	41,95%	75,9	1	43,10%
76,6	1	42,53%	76	1	43,68%
77,3	2	43,68%	76,5	1	44,25%
77,5	1	44,25%	76,7	1	44,83%
77,7	1	44,83%	77,4	1	45,40%
77,9	1	45,40%	77,9	1	45,98%
78,6	1	45,98%	78,4	1	46,55%
78,7	1	46,55%	78,5	1	47,13%
79	1	47,13%	78,9	1	47,70%
79,2	1	47,70%	79,6	1	48,28%
79,4	1	48,28%	80,2	2	49,43%
79,7	1	48,85%	80,4	3	51,15%
79,9	1	49,43%	80,8	1	51,72%
80	1	50,00%	80,9	1	52,30%
80,6	1	50,57%	81,1	1	52,87%
81	2	51,72%	81,4	2	54,02%

Continua

Continuação

Conjunto 1			Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)	Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
81,1	1	52,30%	81,5	2	55,17%
81,2	1	52,87%	81,6	1	55,75%
82,5	2	54,02%	81,7	2	56,90%
83,1	1	54,60%	81,9	2	58,05%
83,7	1	55,17%	82	1	58,62%
83,8	1	55,75%	82,4	1	59,20%
84	1	56,32%	82,6	1	59,77%
84,1	1	56,90%	83,1	1	60,34%
84,8	1	57,47%	84	1	60,92%
85,1	1	58,05%	84,3	1	61,49%
85,3	1	58,62%	84,4	1	62,07%
85,5	1	59,20%	84,9	1	62,64%
85,7	1	59,77%	85,1	1	63,22%
85,9	1	60,34%	85,2	1	63,79%
86,6	2	61,49%	85,3	1	64,37%
86,8	2	62,64%	85,6	1	64,94%
87,3	1	63,22%	85,9	1	65,52%
87,4	1	63,79%	86,5	2	66,67%
87,6	1	64,37%	86,6	1	67,24%
88,4	1	64,94%	86,7	1	67,82%
88,9	1	65,52%	86,8	1	68,39%
89,3	1	66,09%	86,9	1	68,97%
89,5	1	66,67%	87,2	1	69,54%
90,6	1	67,24%	87,6	1	70,11%
90,7	1	67,82%	87,8	1	70,69%
90,8	1	68,39%	88,4	1	71,26%
91,2	1	68,97%	88,7	1	71,84%
91,9	1	69,54%	88,9	2	72,99%
93,5	1	70,11%	89,3	1	73,56%
93,6	1	70,69%	89,7	1	74,14%
93,7	2	71,84%	90,4	1	74,71%
93,9	1	72,41%	90,8	1	75,29%
94,4	1	72,99%	91	1	75,86%
94,7	1	73,56%	91,3	1	76,44%
94,8	1	74,14%	91,6	1	77,01%
95,3	1	74,71%	91,7	1	77,59%
95,4	1	75,29%	92,5	2	78,74%
95,8	1	75,86%	93,1	1	79,31%
96,4	1	76,44%	93,2	1	79,89%
96,5	1	77,01%	93,3	2	81,03%
96,6	1	77,59%	93,4	1	81,61%

Continua

Conclusão

Conjunto 1		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
96,7	1	78,16%
97,1	1	78,74%
97,2	1	79,31%
97,3	1	79,89%
97,4	1	80,46%
97,8	1	81,03%
98	1	81,61%
98,2	1	82,18%
98,9	1	82,76%
99	1	83,33%
99,3	1	83,91%
99,4	1	84,48%
99,6	1	85,06%
100,4	1	85,63%
101,5	1	86,21%
102,1	1	86,78%
102,2	1	87,36%
102,5	1	87,93%
103	1	88,51%
103,9	1	89,08%
104	1	89,66%
104,1	1	90,23%
104,7	1	90,80%
105,6	1	91,38%
106	1	91,95%
106,1	1	92,53%
106,4	1	93,10%
106,6	2	94,25%
108	1	94,83%
109,5	1	95,40%
109,7	1	95,98%
110,1	2	97,13%
112	1	97,70%
114,6	1	98,28%
118,8	1	98,85%
122,5	1	99,43%
128,2	1	100,00%

Conjunto 2		
Velocidade (km/h)	Frequência	Frequência acumulada (%)
93,5	1	82,18%
94,3	1	82,76%
94,4	2	83,91%
94,5	1	84,48%
94,8	2	85,63%
95,2	1	86,21%
95,5	2	87,36%
95,8	1	87,93%
97	1	88,51%
97,1	1	89,08%
97,8	2	90,23%
98	1	90,80%
98,9	1	91,38%
99,7	1	91,95%
100,7	1	92,53%
101,1	1	93,10%
101,3	1	93,68%
102	1	94,25%
102,6	1	94,83%
103	1	95,40%
105,9	1	95,98%
106,6	1	96,55%
107,8	1	97,13%
109,8	1	97,70%
110,4	1	98,28%
111	1	98,85%
111,8	1	99,43%
117,1	1	100,00%

APÊNDICE B – CÁLCULO DA VELOCIDADE OPERACIONAL**km 510+100****Conjunto 1** **Conjunto 2**

km 511+100

Conjunto 1

Conjunto 2

km 511+800

Conjunto 1

Conjunto 2

km 513+600

Conjunto 1

Conjunto 2

km 514+100

Conjunto 1

Conjunto 2

km 514+500

Conjunto 1

Conjunto 2

km 515+200

Conjunto 1

Conjunto 2

km 515+700

Conjunto 1

Conjunto 2

km 516+300

Conjunto 1

Conjunto 2

km 518+100

Conjunto 1

Conjunto 2