

**ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres**  
**RDT – Recurso de Desenvolvimento Tecnológico**

## **RELATÓRIO FINAL**

**MÉTODO PARA CÁLCULO DO NÍVEL DE SERVIÇO EM RODOVIAS DE PISTA SIMPLES: DESENVOLVIMENTO A PARTIR DE DADOS DA RODOVIA BR-040**

**Concessionária BR-040 S.A.**

**10/04/2020**

## SUMÁRIO

<b>1. DESCRIÇÃO DO PROJETO .....</b>	<b>3</b>
<b>2. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS .....</b>	<b>13</b>
<b>3. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>15</b>
<b>4. COLETAS DE DADOS DE TRÁFEGO .....</b>	<b>44</b>
<b>5. AVALIAÇÃO, ESCOLHA E APRENDIZADO DO SIMULADOR DE TRÁFEGO .....</b>	<b>58</b>
<b>6. CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO SIMULADOR DE TRÁFEGO .....</b>	<b>61</b>
<b>7. RELAÇÕES FUNDAMENTAIS DO TRÁFEGO.....</b>	<b>78</b>
<b>8. ANÁLISE DE FAIXAS ADICIONAIS E DE ZONAS DE ULTRAPASSAGENS PROIBIDAS .....</b>	<b>86</b>
<b>9. DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DE PROJETO .....</b>	<b>103</b>
<b>10. CRITÉRIOS PARA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE SERVIÇO .....</b>	<b>111</b>
<b>11. CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E PRODUTOS .....</b>	<b>115</b>
<b>12. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>124</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>134</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>145</b>
<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>162</b>
<b>APÊNDICE D .....</b>	<b>174</b>
<b>APÊNDICE E.....</b>	<b>203</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>214</b>

## **1. DESCRIÇÃO DO PROJETO**

### **1.1. Título, resumo e palavras-chave**

Este relatório apresenta os resultados referentes ao projeto desenvolvido com Recurso de Desenvolvimento Tecnológico (RDT) cujo título é “Método para cálculo do nível de serviço em rodovias de pista simples: desenvolvimento a partir de dados da rodovia BR-040”, cujo resumo de execução e as palavras-chave do trabalho é apresentado abaixo:

“O *Highway Capacity Manual* (HCM) é comumente utilizado para avaliar a capacidade e o nível de serviço de rodovias de pista simples em vários países, incluindo o Brasil. Entretanto, foi desenvolvido com dados de rodovias norte-americanas que possuem características de veículos e de condutores diferentes das encontradas no Brasil. A versão 6 do HCM, que está em fase final de revisão, deverá tratar da capacidade e do nível de serviço de rodovias com base na Densidade de Veículos em Pelotões (*FD*). Essa medida de desempenho vem sendo estudada e apontada como mais adequada, se comparada com as medidas de desempenho que vem sendo utilizadas pela atual versão do HCM (2010): a Velocidade Média de Viagem e a Porcentagem de Tempo Viajando em Pelotões, esta última considerada inviável de ser obtida diretamente em campo. No Brasil, há estudos que vem sendo realizados com o intuito de obter um método adequado para calcular nível de serviço em rodovias de pista simples, que é o objetivo principal deste trabalho. Para isso, foi obtido um conjunto de dados de tráfego na rodovia BR-040, em segmentos localizados em Minas Gerais e em Goiás, com o intuito principal de calibrar e validar o simulador de tráfego utilizado nesta pesquisa, o VISSIM. A calibração foi realizada com base em um Algoritmo Genético, mas somente após estimar outros parâmetros fundamentais do simulador, como aqueles ligados à distribuição de velocidades desejadas e ao desempenho de veículos pesados. Com o simulador calibrado, foram gerados dados de tráfego em segmentos viários hipotéticos, com uma ampla gama de características geométricas e de tráfego. Foram ajustados modelos de tráfego para esses dados de simulação nas seguintes condições: (i) sem zonas de ultrapassagens proibidas e sem faixas adicionais (denominados “modelos base”); (ii) com faixas adicionais; e (iii) com zonas de ultrapassagens proibidas. Foram discutidas quais as situações, em termos de geometria e de tráfego, que determinavam os maiores impactos devido à presença de faixas adicionais e de zonas de ultrapassagens proibidas. Parte dos dados de tráfego coletados em campo, que foram usados na validação do simulador calibrado, também foram usados para comparar as estimativas de *FD* e de nível de serviço obtidos em campo com outros modelos, incluindo os propostos neste trabalho. Os resultados dessa análise indicaram que dois modelos quadráticos entre fluxo unidirecional e *FD* (propostos neste trabalho e outro encontrado na literatura) produziram valores de nível de serviço e de *FD* mais aderentes ao que foram observados em campo. A utilização do HCM, tanto para a versão de 2010 quanto para a provável nova proposta que será publicada em 2019 – sem nenhuma adaptação – tende a subestimar o nível de serviço em rodovias brasileiras, o que provocaria investimentos antes do momento adequado.”

**Palavras-chave:** Rodovias de pista simples, nível de serviço, simulação de tráfego

## 1.2. Justificativa e objetivos

A infraestrutura rodoviária brasileira apresenta considerável diferença quando comparada com a de outros países, como, por exemplo, a infraestrutura norte americana. A densidade da malha rodoviária brasileira é comparativamente baixa, com um índice de 25 km de rodovias pavimentadas para cada 1.000 km<sup>2</sup> de área, ao passo que, nos EUA, esse índice é de 438,1 km de rodovias pavimentadas por 1.000 km<sup>2</sup> de área (ABCR, 2016).

Além disso, o Brasil possuía, em 2014, uma frota de cerca de 77 milhões de veículos, o que significa 4,9 veículos por habitante. Por sua vez, os EUA apresentam uma frota de 253 milhões de veículos e uma proporção de 1,2 veículos por habitante no mesmo período (CNT, 2017). Desse volume brasileiro, a frota do estado de Minas Gerais representa 10,94% da frota total e possui a maior malha de rodovias federais, além de uma extensa malha rodoviária estadual. A frota do estado apresentou um crescimento de 301% de 2001 a 2016, sendo a segunda maior do país (CNT, 2017).

Ainda que a frota de veículos tenha apresentado significativo crescimento ao longo dos últimos anos, algumas vezes acompanhando o crescimento econômico do país, o mesmo não pode se afirmar a respeito do aumento de capacidade das rodovias. De acordo com o Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem de Minas Gerais (DEER-MG, 2017), a malha rodoviária do Estado de Minas Gerais possui 37.721,68 km de extensão. Desse total, 28.232,45 km são de rodovias pavimentadas, ou seja, cerca de 74,84% da malha estadual. A quilometragem de rodovias duplicadas é de apenas 2.465,38, sendo que, em junho de 2017, havia obras de duplicação em cerca de 237,10 km. Considerando apenas as rodovias pavimentadas, 90,42% da malha rodoviária de Minas Gerais é composta por rodovias de pista simples.

Nesse sentido, a qualidade de serviço da circulação em rodovias de pistas simples é fundamental para a competitividade da economia nacional e reflete nos custos do setor de transportes e, em consequência, na sociedade. Além disso, como o fluxo de tráfego em determinado segmento rodoviário, normalmente, é composto por diversos tipos de veículos, tais como caminhões, veículos de passeio e ônibus, com diferentes capacidades de carga e de potência, as velocidades

possíveis de serem alcançadas com segurança são distintas. Mesmo que todos os veículos possuíssem características semelhantes, as expectativas dos motoristas são bastante diversas, refletindo em diferentes velocidades de viagem desejadas. Ainda que sob as mesmas circunstâncias, nenhuma corrente de tráfego irá se comportar da mesma maneira (Roess, 2011).

Os motoristas mais impacientes podem realizar manobras arriscadas para ultrapassarem os veículos de menor velocidade, especialmente quando há a formação de longas filas ao longo de determinados segmentos rodoviários. A formação desses pelotões se deve a uma gama de características da via, tais como geometria, volume de tráfego e, também, das características dos veículos e da forma de dirigir dos motoristas (Liu, 2017). Por isso, Alaix (2016) afirma que a qualidade da circulação em rodovias de pista simples guarda relação direta e próxima com a atenção dispensada às ultrapassagens, pois, quando negligenciadas, podem ocasionar a redução da velocidade média de viagem e redução dos tempos de viagem. Ainda há a implantação de faixas adicionais para a ultrapassagem dos veículos mais lentos, que também surge como uma das alternativas para mitigar esses transtornos e melhorar a operação.

A implantação de faixas adicionais possibilita que os veículos mais lentos se posicionem à direita de circulação para que os veículos mais velozes os ultrapassem com segurança e sem a realização de manobras de ultrapassagens perigosas. Dessa forma, as faixas adicionais proporcionam a diminuição da densidade da corrente de tráfego e aumentam a dispersão dos pelotões que se formaram ao longo dos segmentos rodoviários. Assim, a implantação das faixas adicionais pode representar mais qualidade na operação das rodovias.

Para avaliar a qualidade de uma rodovia, pode ser utilizado o conceito de nível de serviço, que é um importante fator para a decisão de investimentos públicos (Penmetsa, 2015). A aferição do nível de serviço tem sido feita no caso da concessão da rodovia MG-050, por exemplo. Para isso, o método proposto no HCM 2010 deve ser usado para determinar o nível de serviço nessa rodovia de pista simples, embora sem o devido ajuste às condições das vias mineiras. O ajuste é importante porque o HCM foi desenvolvido com dados de tráfego obtidos em rodovias dos Estados Unidos e do Canadá, sendo recomendado, pelo próprio HCM 2010, a adaptação dos parâmetros à cada região em que o manual será aplicado (TRB, 2010).

O HCM 2010 (TRB, 2010) estabelece as condições de referência de uma rodovia, que são as características de um segmento de rodovia que não possui restrições de geometria, de fluxo de tráfego e de condições ambientais. Para rodovias de pista simples, essas condições básicas incluem a possibilidade de realização de manobras de ultrapassagens durante todo o trajeto; a largura da faixa de rolamento maior que 3,6 metros; a largura do acostamento maior que 1,8 metros; correntes de tráfego formadas somente por automóveis; relevo plano; e o fluxo de tráfego é ininterrupto (sem haver, por exemplo, interseções semaforizadas e muitos acessos).

Entretanto, as melhores condições para que as manobras sejam realizadas não são encontradas em todos os segmentos rodoviários, como a existência de zonas de ultrapassagens permitidas ou a existência de intervalo de tempo entre veículos no fluxo oposto, com visibilidade suficiente. Soma-se a isso as características dos veículos envolvidos na ultrapassagem, que podem ter uma velocidade média de viagem bem baixa. Essa situação leva a tempos de viagem abaixo da expectativa, bem como aumenta o desconforto dos motoristas que trafegam nesses segmentos, implicando em uma percepção negativa da qualidade de serviço pelos usuários das vias.

As medidas de desempenho utilizadas pelo HCM 2010 para determinar o nível de serviço são, dependendo da classe da rodovia de pista simples, a porcentagem de tempo viajando em pelotões (*PTSF – Percent Time Spent Following*), a velocidade média de viagem (*ATS – Avarage Travel Speed*) e a porcentagem da velocidade de fluxo livre (*PFFS – Percent of Free Flow Speed*). Entretanto, algumas pesquisas (Penmetsa *et al.*, 2015; Moreno *et al.*, 2014) buscaram medidas de desempenho alternativas às propostas pelo HCM 2010 como forma de melhor representar a realidade dos segmentos rodoviários de pista simples, considerando-se a complexidade de se obtê-los diretamente do campo, principalmente a *PTSF* (Lutinen, 2001; Bessa Jr. *et al.*, 2017).

Algumas pesquisas (Utimura *et al.*, 2017; Bessa Jr., 2015; Pereira e Bessa Jr., 2017) têm demonstrado que a adoção do método previsto no HCM apresenta uma tendência de subestimar o nível de serviço em rodovias brasileiras, o que leva a investimentos fora do momento ideal. No Brasil, valendo-se fortemente de simulação de tráfego, alguns estudos propuseram adaptações dos critérios do HCM às características dos veículos e condutores nacionais, como pode ser observado nos trabalhos de Egami (2006) e Mon-Ma (2008). Outros trabalhos, como

o de Bessa Jr. (2015), desenvolveram modelos de tráfego distintos aos do HCM 2010, buscando, como meta, que eles representem melhor a realidade das rodovias brasileiras.

Sendo assim, Bessa Jr. e Setti (2018), além de buscar um método para calcular nível de serviço que não fosse necessariamente com a mesma estrutura do HCM, ainda estudaram medidas de desempenho encontradas na literatura que pudessem ser mais adequadas para determinar o nível de serviço em rodovias brasileiras, como: a *ATS*; o atraso percentual; a densidade de veículos em pelotões (*FD*); a densidade dos automóveis ( $D_{d,car}$ ); a *PTSF*; a porcentagem de veículos em pelotões (*PF*); a porcentagem de veículos retidos; a taxa de ultrapassagens; e três medidas de desempenho que dependem do número de veículos dentro e fora de pelotões: o tamanho médio dos pelotões, o grau de congestionamento e a liberdade do fluxo.

Dentre todas essas medidas de desempenho, Bessa Jr. e Setti (2018) recomendaram ou a *FD* ou a  $D_{d,car}$  para determinar a qualidade de serviço das rodovias de pista simples brasileiras. Parte desse resultado é corroborado pelo próprio *Transportation Research Board* (TRB), responsável pelo HCM, que deverá indicar a *FD* como medida de desempenho do novo método voltado para rodovias de pistas simples (para a 6<sup>a</sup> edição do manual, aqui chamado de HCM 6), conforme relatório da proposta desenvolvida por Washburn *et al.* (2018).

Sendo assim, parece haver uma tendência a usar *FD* como medida de desempenho para rodovias de pista simples, mas é preciso desenvolver métodos que sejam baseados e voltados para às rodovias brasileiras, que possuem características próprias. Bessa Jr. (2015) ainda recomenda que se dedique mais atenção aos impactos provocados nos modelos de tráfego decorrentes de zonas de ultrapassagens proibidas e, também, de segmentos com a existência de faixas adicionais, que são objetos de estudo desta pesquisa.

Diante do exposto, o objetivo geral do projeto consistiu em obter um método adequado para calcular o nível de serviço em rodovias de pista simples, tendo, como base, os dados de trechos de rodovias de pista simples sob concessão da Via040. Os objetivos específicos traçados para a pesquisa foram:

1. Obter um conjunto de dados de tráfego representativo de diversas condições operacionais de trechos de rodovias de pista simples;

2. Selecionar um simulador de tráfego para rodovias de pista simples que forneça as informações necessárias para subsidiar o desenvolvimento do método e obter uma versão recalibrada capaz de reproduzir a operação dos trechos estudados com um grau de fidelidade adequado;
3. Estudar as relações entre o fluxo de tráfego e as medidas de desempenho que caracterizem o comportamento das rodovias de pista simples brasileiras; e
4. Estudar o efeito sobre a qualidade de serviço de características da via, como as faixas adicionais e as zonas de ultrapassagens proibidas.

### **1.3. Organização do trabalho, período de desenvolvimento e cronograma de execução**

Importante destacar que o projeto foi desenvolvido em duas etapas. A primeira foi realizada entre novembro de 2017 e abril de 2018 (6 meses), enquanto o restante do projeto ocorreu entre junho de 2018 e maio de 2019 (com envio de relatório parcial em novembro de 2018). Na primeira fase, cujo relatório já foi aprovado pela ANTT, foram executadas as etapas de revisão da literatura, de coleta de dados de tráfego e de escolha do simulador de tráfego (o alemão VISSIM). Na segunda etapa, o restante da proposta foi executado, tendo sido enviado, em novembro de 2018, um relatório parcial acerca da execução da segunda fase.

Na Figura 1.1, é possível verificar o cronograma de todo o projeto (18 meses), cujas etapas de execução (de acordo com plano de trabalho aprovado) são:

1. Revisão da literatura;
2. Coleta e tratamento dos dados de tráfego;
3. Avaliação, escolha e aprendizado do modelo de simulação;
4. Calibração e validação do modelo de simulação adotado;
5. Realização dos experimentos de simulação para determinação das relações fundamentais do tráfego;
6. Realização dos experimentos de simulação para determinação das relações ou dos fatores de ajuste relacionados com as faixas adicionais e as zonas de ultrapassagens proibidas;
7. Determinação de parâmetros de projeto;

8. Determinação de critérios para determinação no nível de serviço a partir das medidas de desempenho propostas.

Figura 1.1: Cronograma de execução do projeto (1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> fases)

Etapas	1 <sup>a</sup> fase			2 <sup>a</sup> fase					
				Parte 1		Parte 2			
	Bimestres								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Revisão da literatura	•	•	•	•	•	•	•	•	•
2. Coleta e tratamento de dados de tráfego			•	•	•				
3. Avaliação, escolha e aprendizado do simulador de tráfego			•	•					
4. Calibração e validação do simulador de tráfego					•	•			
5. Relações fundamentais do tráfego							•		
6. Análise de faixas adicionais e zonas de ultrapassagens proibidas							•	•	
7. Determinação de parâmetros de projeto								•	
8. Critérios para determinação do Nível de Serviço									•

#### 1.4. Locais de execução das etapas

A seguir, são descritos os locais de execução de cada etapa de execução do projeto (conforme apresentados na Figura 1.1).

##### 1.4.1. Revisão da literatura

A revisão da literatura é uma etapa que, praticamente, durou todo o projeto, pois há sempre pesquisas que vêm sendo publicadas e que podem influenciar no desenvolvimento projeto. Consiste numa etapa teórica, que inclui leituras de artigos de eventos técnico-científicos, artigos publicados em periódicos especializados, dissertações de mestrado e teses de doutorado. A equipe executora, como pode ser visto no item 1.5 a seguir, é composta pelo coordenador do projeto (que é professor da UFMG), por técnicos e estagiários da Concessionária Via040 e por um aluno de mestrado do curso de Mestrado em Geotecnologia e Transportes da UFMG (GeoTrans).

Sendo assim, foram usados vários ambientes no desenvolvimento da revisão da literatura, essencialmente com a utilização de computadores com acesso à bases de busca de trabalhos científicos *online*. Para execução dessa etapa no âmbito da Via040, foram utilizados os seguintes ambientes: (i)

estações de trabalho individuais na Sede da empresa; (ii) estações de trabalho no Laboratório de pavimentação e solos; e (iii) salas de reunião. Na UFMG, os seguintes ambientes foram usados: (i) gabinete do professor coordenador do projeto; (ii) sala de estudo do GeoTrans; (iii) Centro de Cálculo Eletrônico (CCE) da Escola de Engenharia, equipado com microcomputadores; e (iv) Biblioteca da Escola de Engenharia.

#### *1.4.2. Coleta e tratamento de dados de tráfego*

A coleta e o tratamento dos dados de tráfego foram planejados a partir de dados históricos dos sensores de tráfego permanentemente instalados na rodovia (em segmentos homogêneos e em praças de pedágio). A análise dessas informações foi realizada em computadores, principalmente nas estações de trabalho da concessionária.

De posse da lista de locais mais promissores da BR-40 para realização de coletas de dados de tráfego, aquelas que possuem mais diversidade do ponto de vista da magnitude do tráfego e da geometria viária, foram realizadas coletas de tráfego com filmadoras (entre os km's 19 e 39; 95 e 105; 130 e 150; 288 e 298; e 359 e 399 da BR-040), com um GPS (entre os km's 395 e 404 da rodovia), e com drone (entre o km 47 e o km 767 da BR-040). Nessas coletas de dados de tráfego, foi importante a participação da equipe de inspeção viária da rodovia, do Centro de Controle Operacional (CCO), dos Postos de Atendimento ao Usuário e da Polícia Rodoviária Federal (PRF).

Alguns voos foram realizados com um quadricóptero portátil (drone) Mavic Pro (DJI, 2017) para registrar as ultrapassagens em campo, com o intuito de obter parâmetros de calibração do VISSIM. A equipe executora do projeto participou de um treinamento, de duração de 5 horas, com a empresa que forneceu o equipamento (ModelismoBH Assistência Técnica Ltda). O treinamento ocorreu na sede da concessionária, primeiro no auditório (parte teórica) e, depois, nos arredores da empresa (parte prática).

#### *1.4.3. Avaliação, escolha e aprendizado do simulador de tráfego*

O simulador alemão VISSIM foi escolhido para simular segmentos de rodovias de pista simples e, com isso, desenvolver modelos de tráfego. Foi realizado um treinamento da equipe envolvida, em 4 dias, no total de 32 horas, ocorrido nas salas de reunião da Concessionária Via040, na sede da empresa.

#### *1.4.4. Demais etapas*

As demais etapas do projeto (4 a 8) foram realizadas por meio de reuniões periódicas (semanais, principalmente), de desenvolvimentos de experimentos de simulação, e de análises e tratamento dos resultados, inclusive na submissão e publicação de artigos científicos. Por conta disso, os locais de execução são, basicamente, os mesmos dos relatados no item 1.4.1:

- Via040: estações de trabalho individuais na Sede da empresa; estações de trabalho no Laboratório de pavimentação e solos; e salas de reunião.
- UFMG: gabinete do professor coordenador do projeto e sala de estudo do GeoTrans.

### **1.5. Equipe executora**

A equipe executora do projeto foi composta:

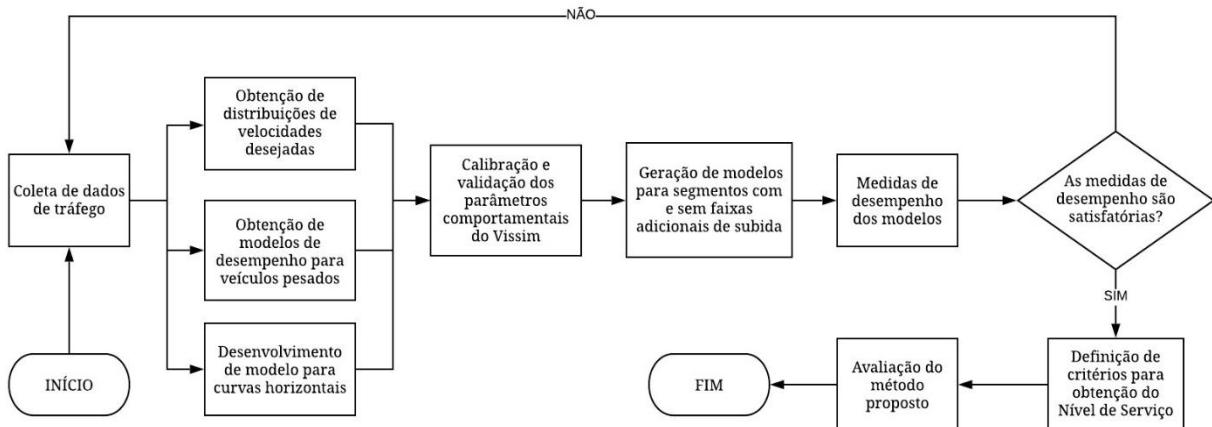
- Pelo coordenador do projeto, Prof. José Elievam Bessa Júnior, lotado no Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnologia (DETG) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), com carga horária de 2 h semanais no projeto.
- Pelas estagiárias Anáiram Lima Costa e Carolina Moreira de Lima, estudantes de graduação em Engenharia de Transportes do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), ambas atualmente em fase de conclusão, com carga horária de 20 h por semana de atuação no projeto;
- Pelos engenheiros da Concessionária Via040 Aline Ferreira Andalício e Diego Milli da Costa Velho; e
- Pelo MSc. Frederico Amaral e Silva, que desenvolveu, com suporte do projeto, a dissertação de mestrado intitulada “Determinação do impacto de zonas de ultrapassagens proibidas e de faixas adicionais de subida em segmentos de rodovias de

pista simples”, no âmbito do GeoTrans (sem bolsa fornecida pelo projeto RDT).

## 2. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS

A Figura 2.1 apresenta, de forma resumida, método empregado neste relatório para atingir a meta proposta para o projeto, que se inicia com a coleta de dados de tráfego necessários, tais como volume, velocidade veicular, *headways* e massa e potência de veículos pesados, em segmentos de rodovias de pista simples selecionados. Com esses dados, é necessário estimar: (i) as distribuições de velocidades desejadas nos segmentos viários, para fins de modelagem no simulador de tráfego (VISSIM); (ii) os modelos de desempenho dos veículos pesados, também para realizar simulações de tráfego; e (iii) um modelo que represente o impacto de curvas horizontais na operação.

Figura 2.1: Método proposto para avaliar o impacto de faixas adicionais



Após isso, parte dos dados também é usado para calibrar e validar os parâmetros comportamentais do simulador de tráfego, realizado em duas etapas: (i) com dados de campo obtidos a partir de um drone; e (ii) por meio de um Algoritmo Genético (AG). Com isso, o simulador está apto para gerar dados de tráfego em diversas condições de tráfego e de geometria viária, com o objetivo de gerar modelos para segmentos com e sem faixas adicionais. As medidas de desempenho oriundas dos modelos (que, neste artigo, foi a *FD*) devem ser avaliadas ao compará-las com valores obtidos em campo.

Caso as medidas de desempenho obtidas dos modelos sejam consideradas satisfatórias, é necessário definir novos critérios para obter o nível de serviço. O método, então, é avaliado com o objetivo de determinar o impacto na obtenção dos níveis de serviço a partir do uso dos modelos propostos neste trabalho, comparando-os com os níveis de serviço encontrados a partir do método e do critério proposto pelo HCM.

### **3. REVISÃO DA LITERATURA**

Neste capítulo, são abordados aspectos importantes encontrados na literatura sobre a dinâmica das ultrapassagens, as características das zonas de ultrapassagens proibidas e os impactos de faixas adicionais de subida em rodovias de pista simples. Além disso, são discutidas as medidas de desempenho mais apropriadas para esse tipo de rodovia, inclusive dentro da nova metodologia que será preconizada pela 6<sup>a</sup> edição do HCM (Washburn *et al.*, 2018).

#### **3.1. Ultrapassagens em rodovias de pista simples**

As características de uma rodovia de pista simples incluem a necessidade de realização de manobras de ultrapassagens quando um veículo mais rápido encontra um veículo mais lento em um determinado trajeto. Se a geometria viária não permite uma visibilidade suficiente para o tráfego no sentido oposto, os veículos mais rápidos não realizam manobras de ultrapassagens e eles tendem a desenvolver uma velocidade abaixo daquela que gostariam. Além disso, os diferentes níveis de desempenho dos veículos e dos usuários fazem com que os motoristas possuam velocidades desejadas de viagem diferentes. Quanto mais próximo da sua velocidade desejada os motoristas conseguem se manter em um dado segmento rodoviário, maior é o nível de conforto e de comodidade percebido por eles durante uma viagem, desde que eles não permaneçam atrás de veículos lentos, formando pelotões.

McLean (1989) analisa a dinâmica das manobras de ultrapassagens e aponta cinco fatores básicos que influenciam diretamente como elas acontecem, a saber:

- a) Tipo de veículo ultrapassado: os motoristas que ultrapassam respondem de acordo com os diferentes tipos de veículos a serem ultrapassados; assim, o comportamento de um motorista é diferente ao ultrapassar um caminhão ou ultrapassar um veículo leve;
- b) Velocidade do veículo ultrapassado: a velocidade do veículo a ser ultrapassado influencia a distância necessária para se realizar a manobra;
- c) Tipo de veículo que ultrapassa: o comportamento de um condutor em um veículo de alto desempenho é diferente quando se conduz um veículo de menor rendimento, como um caminhão, por exemplo;

- d) Necessidade de acelerar para realizar a ultrapassagem: se a ultrapassagem ocorre assim que o veículo mais veloz se depara com um veículo mais lento, é diferente de quando o veículo mais veloz reduz sua velocidade àquela do veículo mais lento, o que leva a uma necessidade de acelerar para realizar a ultrapassagem;
- e) Oportunidade de ultrapassagem: a oportunidade de ultrapassagem pode ser definida por fatores como a visibilidade para o veículo em sentido oposto, pela distância de visibilidade devido à geometria viária e pelo início de uma zona de ultrapassagem permitida.

Ao analisar o comportamento dos motoristas ao aceitar intervalos para realização de manobras de ultrapassagens, McLean (1989) indica que, de modo geral: (i) motoristas possuem boa interpretação da distância necessária para realizar a manobra, apesar de terem dificuldades em avaliar a velocidade do veículo em sentido oposto; (ii) há uma grande variabilidade na aceitação dos intervalos entre veículos pelos motoristas; (iii) a decisão de aceitar um intervalo para a ultrapassagem é conservadora e prudente; (iv) a aceitação do intervalo para ultrapassagem depende do tipo e da velocidade do veículo a ser ultrapassado, da distância de visibilidade ou da presença de veículo no sentido oposto e se é necessário acelerar para realizar a manobra; (v) o intervalo crítico para realização da manobra é baseado na distância do veículo oposto.

Outro aspecto importante para a realização das manobras de ultrapassagens é a possibilidade de um intervalo no fluxo de tráfego contrário que possibilite ao condutor realizar a manobra de ultrapassagem. Assim, quanto maior o fluxo em sentido oposto, menores serão as possibilidades de realizar ultrapassagens com segurança. Outra questão relevante é que ultrapassar um caminhão é uma manobra mais complexa que ultrapassar um veículo de passeio, pois os caminhões são mais longos e bloqueiam a visão ao redor. Isso implica que os motoristas demandam um intervalo entre veículos maior para realizar a manobra de ultrapassagem (McLean, 1989).

De acordo com o Manual de Projeto Geométrico da AASHTO (2001), o *Green Book*, a distância mínima de visibilidade (*DMV*) é a que permite o motorista realizar as manobras de ultrapassagens com segurança, havendo tempo hábil para ultrapassar o veículo que trafega em velocidade mais lenta, sem colidir com o veículo que vem em sentido contrário e com espaço

suficiente para abortar a manobra, caso necessário. No Manual, é proposto um modelo para cálculo da distância mínima de visibilidade para ultrapassagens, conforme abaixo:

$$DMV = d_1 + d_2 + d_3 + d_4, \quad (3.1)$$

em que  $d_1$  é a distância percorrida, em metros, pelo automóvel durante a percepção e a reação do motorista da zona de ultrapassagem e a aceleração do automóvel para mudar de faixa de circulação e se posicionar na faixa esquerda para iniciar a manobra de ultrapassagem. A distância  $d_1$  é dada por:

$$d_1 = 0,28t_1(u - m + \frac{at_1}{2}), \quad (3.2)$$

em que  $t_1$  é o tempo de percepção e reação em segundos;  $m$  é a diferença do veículo que está ultrapassando para o veículo que está mais lento, geralmente de 15 km/h (10 mi/h);  $a$  representa a aceleração do automóvel ( $\text{m/s}^2$ );  $u$  significa a velocidade média do veículo que ultrapassa (km/h);  $d_2$  é a distância que o veículo que realiza a ultrapassagem percorre na faixa esquerda, que é dado por:

$$d_2 = 0,28ut_2, \quad (3.3)$$

em que  $t_2$  é o tempo que o veículo que realiza a ultrapassagem percorre na faixa esquerda (s);  $u$  é a velocidade média do veículo que realiza a ultrapassagem (km/h);  $d_3$  é a distância de segurança entre o veículo que realiza a ultrapassagem e o veículo que vem em sentido oposto no final da ultrapassagem, e vale entre 33 e 91 metros, de acordo com a velocidade de ultrapassagem;  $d_4$  é a distância que o veículo em sentido oposto percorre após ser visto pelo veículo que realiza a ultrapassagem, e é dada dado por:

$$d_4 = \frac{2}{3}d_2 \quad (3.4)$$

A Figura 3.1 ilustra como ocorrem as ultrapassagens, considerando-se cada uma das variáveis consideradas para o cálculo da DMV de ultrapassagem. Outro aspecto importante que pode ser observado é que se o veículo, ao visualizar outro no sentido oposto, não tiver percorrido 1/3 d2,

a manobra de ultrapassagem será abortada e o veículo retornará para sua posição na fila atrás do veículo lento. A AASTHO (2001) apresenta a correlação entre a distância para realizar a manobra e a velocidade dos veículos (Tabela 3.1).

Figura 3.1: Dinâmica da ultrapassagem em rodovias de pista simples (AASHTO, 2001)

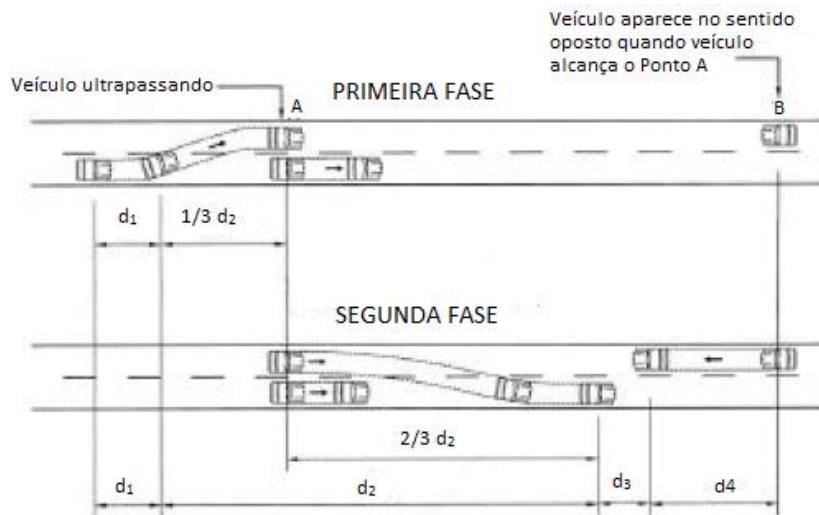


Tabela 3.1: Elementos para distância de ultrapassagem segura (ASSHTO, 2001)

Componente da ultrapassagem	Grupo de velocidade (km/h)			
	50 a 65	66 a 80	81 a 95	96 a 110
	Velocidade média de ultrapassagem (km/h)			
	56,2	70,0	84,5	99,8
<b>Início da manobra:</b>				
$a$ = aceleração média ( $m/s^2$ )	2,25	2,30	2,37	2,41
$t_1$ = tempo (s)	3,6	4,0	4,3	4,5
$d_1$ = distância percorrida (m)	45	66	89	113
<b>Uso da faixa em sentido oposto:</b>				
$t_2$ = tempo (s)	9,3	10,0	10,7	11,3
$d_2$ = distância percorrida (m)	145	195	251	314
<b>Retorno para o sentido direcional:</b>				
$d_3$ = distância percorrida (m)	30	55	75	90
<b>Veículo em sentido oposto:</b>				
$d_4$ = distância percorrida (m)	97	130	168	209
<b>Distância percorrida total:</b>				
$d_1 + d_2 + d_3 + d_4$ (m)	317	446	583	726

Assim, a possibilidade de ultrapassagem guarda relação direta com a velocidade dos veículos na via, bem como com sua geometria, pois essas distâncias mínimas para ultrapassagens com

segurança consideram que o condutor conseguirá visualizar toda a distância mínima sem a existência de obstáculos.

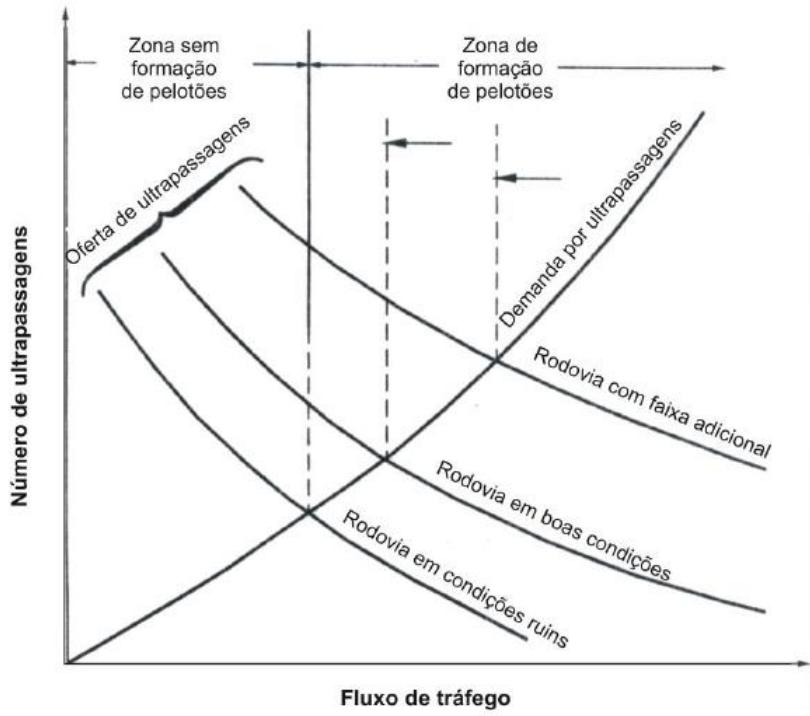
Taneka e Troutbrck (1998) propuseram a taxa de ultrapassagens como medida de desempenho para rodovias com baixo fluxo de veículos. Com o uso da simulação, foram obtidos valores típicos de rodovias norte americanas de baixo volume de tráfego, que foram utilizados para desenvolver um modelo de taxa de ultrapassagens. Foram obtidos *headways* entre 2 e 5 segundos, velocidade média de 60 km/h com desvio padrão de 9,6 km/h e adotado um fluxo diário de 300 veículos/dia com divisão direcional de 50% para cada sentido, pois esse fluxo foi considerado consistente com as rodovias de baixo fluxo norte americanas. Assim, chegaram à seguinte formulação para a taxa de ultrapassagens (*OR*), dada em ultrapassagens/km/h:

$$OR = k_o \frac{\overline{ADT}^2}{\bar{v}}, \quad (3.5)$$

em que *ADT* é o volume diário médio (*Average daily traffic*) bidirecional (veic/dia);  $k_o$  é uma constante relacionada ao coeficiente de variação de velocidades; e  $\bar{v}$  é a velocidade média bidirecional.

Morral e Werner (1990) estudaram a demanda por ultrapassagens e propuseram uma medida de desempenho também denominada como taxa de ultrapassagens, que consiste na razão do número de ultrapassagens realizadas (*AO*) pelo número de ultrapassagens desejadas (*DO*). Há que se considerar que a *DO* aumenta quando: (i) a geometria da via se torna mais desfavorável (maiores aclives, por exemplo); (ii) for maior o percentual de veículos pesados (caminhões e ônibus) na corrente de tráfego; e (iii) for maior o número e a frequência de zonas de ultrapassagens proibidas. Quando a *DO* excede a *AO*, tem-se a formação de pelotões. Os autores demonstraram graficamente como se dá a formação de pelotões em função do volume de veículos, da possibilidade de realização de ultrapassagens e da qualidade da rodovia, conforme a Figura 3.2.

Figura 3.2: Funções de oferta e demanda de ultrapassagens para rodovias com diferentes oportunidades de ultrapassagens (Morral e Werner, 1990)



Com o uso de simulação de tráfego, procurou-se relacionar as ultrapassagens e o fluxo de tráfego para determinar qual é o efeito, no nível de serviço, do percentual de zonas de ultrapassagens proibidas em função da composição do tráfego e das características do relevo. Foi demonstrando que mais caminhões e veículos recreacionais na corrente de tráfego reduzem a taxa de ultrapassagens, em especial com baixos volumes de fluxo.

O efeito das zonas de ultrapassagens proibidas foi analisado com dois cenários, desenvolvidos em função dos padrões de projeto das rodovias do Oeste do Canadá : (i) percentual de 51,6% com zonas de ultrapassagens proibidas e sem faixas adicionais; e (ii) outro cenário com 47,2% de zonas de ultrapassagens proibidas, mas com 28,2% de faixas adicionais. Os resultados demonstraram que o segmento com faixa adicional possui uma relação AO/DO muito maior que nos segmentos em que não há zonas de ultrapassagens proibidas. Assim, esclarecem que o percentual de zonas de ultrapassagens proibidas não é um bom indicador, isoladamente, para avaliar o impacto das faixas adicionais no nível de serviço. A taxa de ultrapassagens também é sensível ao relevo da rodovia: quanto mais acidentado, maior a taxa, tanto para zonas de ultrapassagens quanto para segmentos com faixa adicional.

A taxa de ultrapassagens diminui quando o percentual de atrasos médio do tempo de viagem aumenta, indicando que as variações não são diretamente proporcionais, sendo que os motoristas tendem a sentir um maior desconforto com a formação de pelotões que com o atraso na viagem. Dessa forma, para uma melhor percepção sobre a qualidade de serviço, poderia ser utilizada a taxa de ultrapassagens como um dos indicadores do nível de serviço, em conjunto com outros indicadores já disponíveis na literatura (Morral e Werner, 1990). A viabilidade de se obter a taxa de ultrapassagens em campo não é trivial, especialmente o número de ultrapassagens desejadas (Bessa Jr., 2015).

Al-Kaisy *et al.* (2018) analisaram algumas medidas de desempenho, dentre elas a taxa de ultrapassagens, buscando nelas algumas características desejáveis, como: (i) percepção do usuário da rodovia; (ii) facilidade de obtenção; (iii) sensibilidade às condições da rodovia; (iv) compatibilidade com outros tipos de rodovias; (v) capacidade de descrever diferentes fluxos de tráfego; e (vi) capacidade de estar correlacionadas com aspectos de segurança, econômicos, ambientais e de confiabilidade. Considerando-se esses aspectos, chegaram à conclusão de que a taxa de ultrapassagens apresenta qualitativamente um resultado pior que as outras medidas de desempenho que foram avaliadas. A percepção é que a taxa de ultrapassagens não reflete precisamente o que se espera em uma rodovia de pista simples, não representando o eventual desconforto ou a qualidade de um determinado segmento de rodovia.

Moreno *et al.* (2018) investigaram o impacto de diferentes níveis e distribuições de zonas de ultrapassagens proibidas, ao longo de um segmento de rodovia de pista simples, das duas medidas de desempenho utilizadas pelo HCM2010 para análise de rodovias de pista simples, a *ATS* e a *PTSF*. Além dessas medidas de desempenho, os pesquisadores analisaram ainda a porcentagem de veículos em pelotões (*PF*), utilizando, como *headway* crítico, os valores de 3 e 4 segundos. A *PF* é uma medida que representa a proporção de veículos trafegando com *headways* menores ou iguais a um determinado valor crítico, sendo utilizada como medida *proxy* para os casos em que não é possível obter a *PTSF*.

O objetivo do estudo foi avaliar o efeito de zonas de ultrapassagens proibidas para as condições de operação da rodovia, considerando que o ajuste proposto pelo HCM considera apenas o percentual de zonas de ultrapassagens proibidas, desconsiderando o comprimento e a

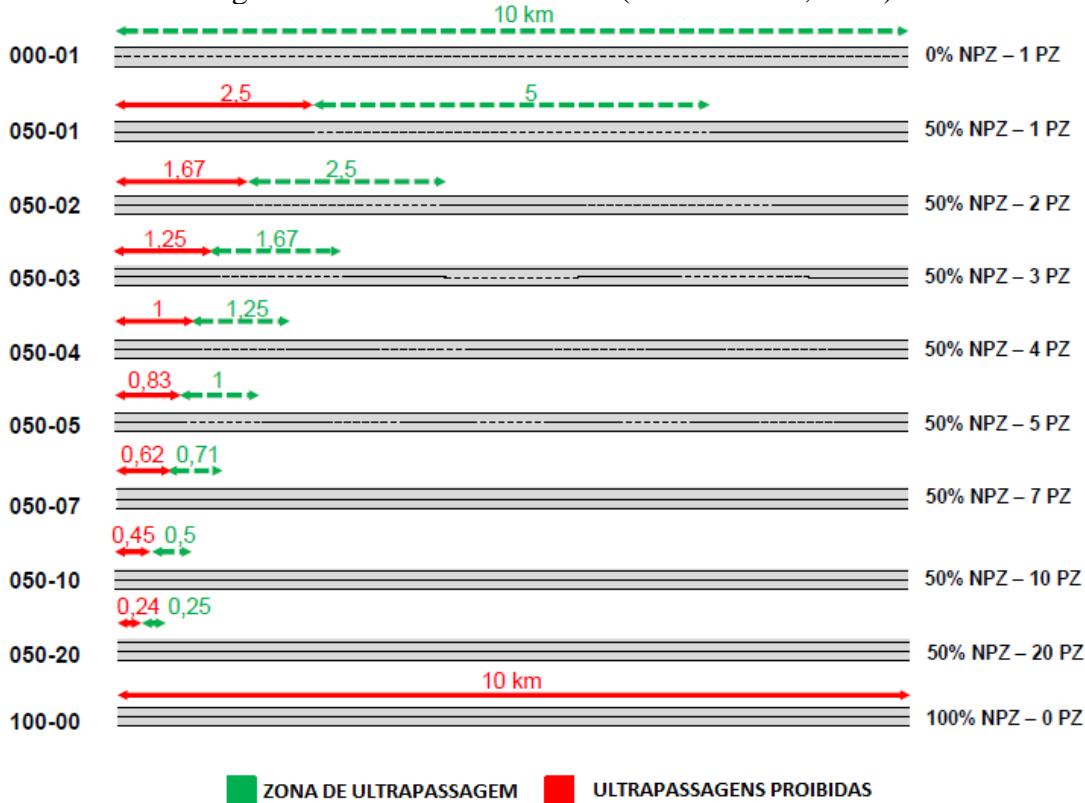
distribuição das zonas de ultrapassagens proibidas ao longo do segmento. Além disso, questionam a efetividade das zonas de ultrapassagens muito curtas para a melhoria operacional da via.

O estudo consistiu na (i) obtenção de dados de comportamento dos motoristas na realização das ultrapassagens em rodovias de pistas simples espanholas; (ii) calibração do simulador de tráfego TWOPAS; (iii) criação de cenários de simulação variando-se o fluxo direcional, a divisão de tráfegos por sentido, o percentual de zonas de ultrapassagens proibidas e o comprimento dos segmentos de ultrapassagens permitidas; (iv) modelagem da *ATS* e do *PTSF* a partir das condições de tráfego e no comprimento da zona de ultrapassagem permitida; (v) avaliação do efeito do comprimento das zonas de ultrapassagens permitidas na *ATS* e na *PTSF* e, por fim, (vi) proposição de novos procedimentos para analisar as condições operacionais de rodovias espanholas.

Os pesquisadores obtiveram dados de tráfego em rodovias de pista simples espanholas com velocidade permitida de 100 km/h e com um volume diário médio (VDM) de 5.925 veículos. Foi observada a frequência e a dinâmica de ultrapassagens realizadas nos segmentos com o auxílio de filmadoras.

Foram modelados, no TWOPAS, correntes de tráfego com 0%, 50% e 100% de zona de ultrapassagens proibidas. Considerando o segundo cenário, foi realizada a distribuição de diferentes comprimentos para as zonas de ultrapassagens proibidas. As zonas de ultrapassagens permitidas foram modeladas com o comprimento de 250 m, 500 m, 714 m, 1.000 m, 1.250 m, 1.670 m, 2.500 m e 5.000 m. Assim, conforme a Figura 3.3, foram modelados segmentos de 10 km de extensão, sem curvas horizontais e verticais e com inclinação de 0,5%.

Figura 3.3: Cenários de Análise (Moreno *et al.*, 2018)



As condições de tráfego foram modeladas com variações de divisão de fluxo direcional e sentido oposto conforme demonstrado na

Tabela 3.2. Quanto ao volume de tráfego, foi modelado de 100 a 1.700 veic/h no sentido direcional e com cenários variando de 50 em 50 veic/h, sendo o sentido oposto limitado à 1.700 veic/h e o fluxo de tráfego bidirecional limitado a 3.200 veic/h. A composição do tráfego foi simulada com o percentual de veículos pesados de 0%, 10%, 20% e 30%.

Após a composição dos cenários, foram realizadas 15 simulações para cada condição de tráfego modelada. Na

Tabela 3.2, é possível verificar os cenários resultantes das combinações das variáveis de análise da utilizadas na pesquisa.

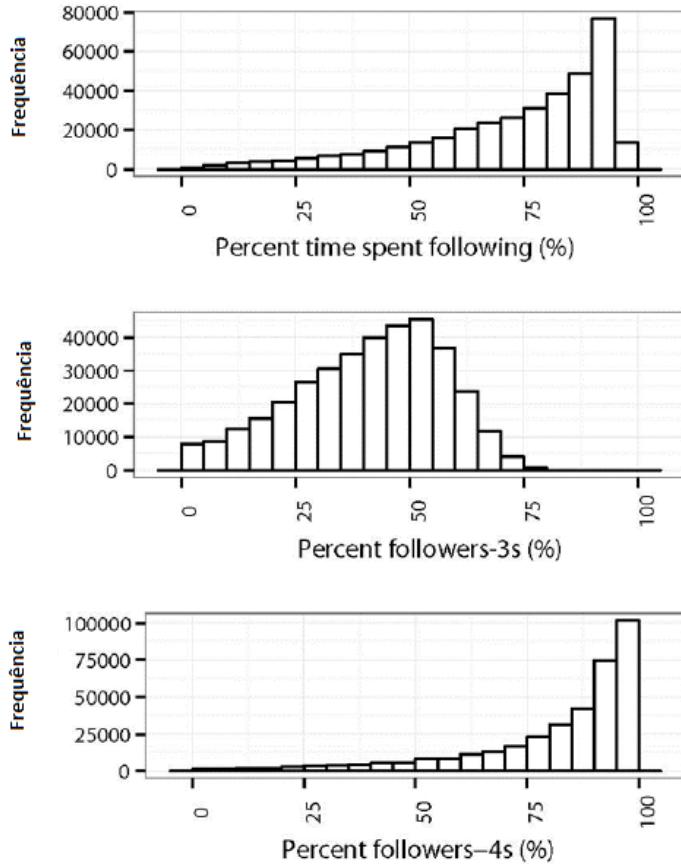
Em relação às ultrapassagens, foi observado que quanto mais equilibrada for a divisão dos fluxos direcionais, bem como menores forem as zonas de ultrapassagens permitidas, menores são as quantidades de ultrapassagens realizadas, concluindo-se que a efetividade das zonas de ultrapassagens permitidas se estabiliza a partir de 1.100 m de comprimento. Assim, quando há uma divisão de fluxos direcional maior em um sentido que no sentido oposto, foi verificada uma maior quantidade de ultrapassagens, ao passo que, também, há um maior número de ultrapassagens quando as zonas de ultrapassagens permitidas são maiores. Ou seja, zonas de ultrapassagens muito curtas foram consideradas pouco efetivas. A Figura 3.4 mostra os resultados de *PF* e *PTSF* para um dos cenários analisados.

Tabela 3.2: Combinação dos cenários (Moreno *et al.*, 2018)

Variável	Distribuição das zonas de ultrapassagem	% veículos pesados	Divisão do fluxo de veículos	Volume direcional (veic/h)
Valores	0% NPZ, 1. ZA (000-01) 50% NPZ, 1 ZA (050-01) 50% NPZ, 2 ZA (050-02) 50% NPZ, 3 ZA (050-03) 50% NPZ, 4 ZA (050-04) 50% NPZ, 5 ZA (050-05) 50% NPZ, 7 ZA (050-07) 50% NPZ, 10 ZA (050-10) 50% NPZ, 20 ZA (050-20) 100% NPZ, 0 ZA (100-00)	0 10 20 30 40/60 50/50 60/40 70/30 80/20	20/80 30/70 40/60 50/50 60/40 70/30 80/20	Entre 100 e 1.700 incrementos de 50 em 50 veículos por hora
Subtotal	10	2	7	32
Total	249.150 simulações executadas válidas			

NPZ: Zona de ultrapassagem proibida; ZA: Zona de ultrapassagem permitida

Figura 3.4: Distribuição do *PTSF* e do *PF* - Cenário 000-01 (Moreno *et al.*, 2018)



Entre as recomendações desse estudo, está a indicação de que outras medidas de desempenho devem ser estudadas mais a fundo, especialmente aquelas baseadas na *PF*, como a densidade de veículos em pelotões (*follower density*), que possui a seguinte formulação:

$$FD = \frac{PF}{100} \cdot \frac{q}{ATS}, \quad (3.6)$$

em que  $q$  é o fluxo de tráfego (veic/h).

Mwesige *et al.* (2017) avaliaram o efeito do comprimento e a segurança das zonas de ultrapassagens em relação ao percentual das manobras de ultrapassagens que são concluídas após o final do trecho em que a ultrapassagem é permitida, com dados coletados em rodovias de pista simples em Uganda. Nesse estudo, foi estimada a probabilidade de uma manobra de ultrapassagem terminar após o segmento em que a ultrapassagem é permitida, observando-se o

comprimento da zona de ultrapassagens, a distância percorrida até o início da manobra, a velocidade dos veículos envolvidos na ultrapassagem e o tipo de veículo que é ultrapassado.

Quando a zona de ultrapassagem é menor que 400 m, é maior a chance de as ultrapassagens terminarem após o término do trecho permitido. Para melhorar a eficiência operacional, foi recomendado que as zonas de ultrapassagem tenham pelo menos 500 m de comprimento quando o fluxo for predominante de carros e caminhões pequenos. Quando a corrente de tráfego conter caminhões maiores, a zona de ultrapassagens deve ser de, no mínimo, 600 m, com os 300 m finais reservados para a conclusão das manobras.

Dessa forma, considerando a complexidade de avaliar o desempenho do fluxo de veículos em uma rodovia de pista simples, em especial em observar o *PTSF*, Penmetsa *et al.* (2015) analisaram algumas das medidas de desempenho na literatura que fossem adequadas para caracterizar a operação em rodovias de pista simples. Os autores propuseram o uso do número de veículos em pelotões (*number of followers - NF*) e a relação entre o número de veículos em pelotões e a capacidade (*number of followers as a proportion of capacity - NFPC*).

O *NF* representa a quantidade de *headways* menores que 2,6 segundos, que tem a vantagem de ser facilmente obtido em campo. A expectativa com essa medida de desempenho é que, à medida que o fluxo de tráfego aumenta, o número de veículos trafegando em intervalos menores que 2,6 segundos aumentam proporcionalmente. Entretanto, a *NF*, isoladamente, pode não representar os segmentos em que haja congestionamento, pois não está correlacionada com a capacidade da rodovia, devendo ser combinado com outras medidas de desempenho.

Assim, os autores propõem uma combinação entre o *NF* e a capacidade da rodovia, dando origem ao *NFPC*, que a partir de uma função quadrática apresenta a melhor correlação com o fluxo. Essa conclusão foi possível a partir de dados de tráfego obtidos em rodovias da Índia, com as características de pista simples e com o tráfego composto por diversos tipos de veículos.

A Equação 3.7 mostra a formulação do *NFPC*, que apresentou um coeficiente de correlação  $R^2$  de 0,98 com o fluxo de tráfego direcional ( $q_d$ ). O *NFPC* também apresentou uma grande correlação com a *PF*. A Equação 3.8 demonstra a relação entre a *PF* e o *NFPC*, que possui uma correlação  $R^2$  de 0,90 para os dados utilizados na pesquisa. Os autores também propuseram

critérios para determinação do nível de serviço a partir do  $NFPC$  e compararam com o critério do HCM 2010, como demonstrado na Tabela 3.3.

$$NFPC = 9,36 \cdot 10^{-6} + 6,04 \cdot 10^{-5} \cdot q_d^2, \quad (3.7)$$

$$PF = 92,817 \cdot (NFPC)^{0,5229}, \quad (3.8)$$

Figura 3.5:  $NF$ ,  $NFPC$  e o Fluxo Direcional (Penmetsa *et al.*, 2015)

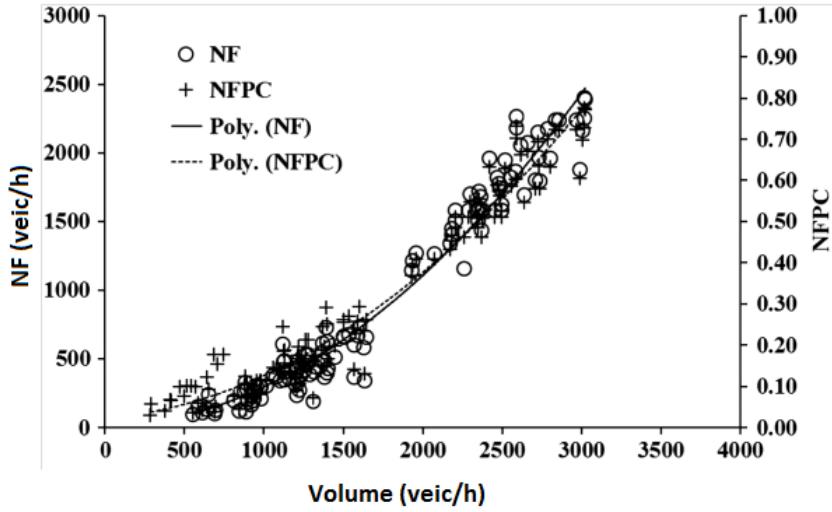


Figura 3.6: Correlação entre o  $PF$  e o  $NFPC$  (Penmetsa *et al.*, 2015)

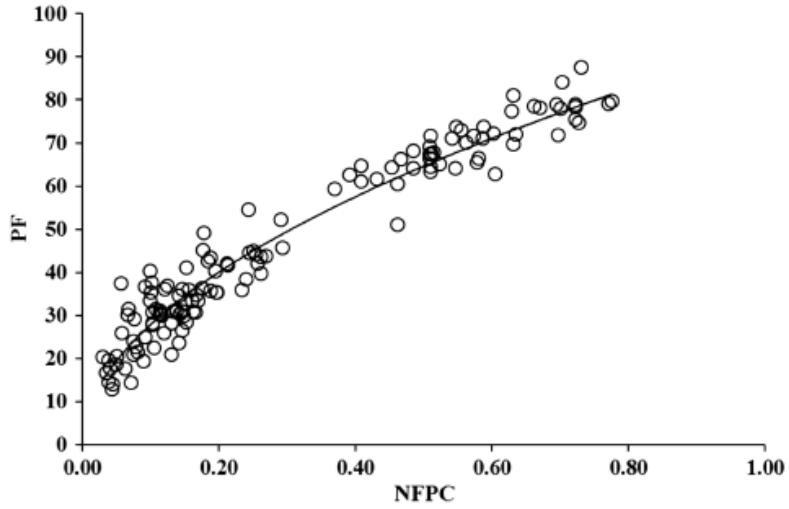


Tabela 3.3: Valores propostos para Nível de Serviço Baseado no  $NFPC$  (Penmetsa *et al.*, 2015)

<b>Nível de serviço</b>	<b>PTSF (HCM 2010)</b>	<b>NFPC</b>
A	$\leq 35$	$\leq 0,15$
B	$> 35-50$	$> 0,15-0,31$
C	$>50-65$	$>0,31-0,51$
D	$>65-80$	$>0,51-0,75$
E	$>80$	$>0,75$

### **3.2. Faixa adicional de subida**

A liberdade e a segurança operacional em rodovias de pista simples podem ser prejudicadas caso existam rampas acentuadas e longas que provoquem uma brusca redução da velocidade da corrente de tráfego, especialmente quando há veículos pesados nos segmentos com essas características. Dessa forma, haverá a formação de pelotões e o aumento do atraso médio dos veículos, se o fluxo de veículos for alto (AASHTO, 2001).

As faixas adicionais de subida consistem em uma terceira faixa de tráfego, complementar, implantada nos segmentos com rampa de subida acentuadas para o uso de veículos pesados e que tem a velocidade de tráfego significativamente reduzida nesse tipo de trecho (Yaqin. *et al.*, 2009). O objetivo é facilitar o tráfego dos veículos mais rápidos, ao permitir que sejam realizadas as ultrapassagens com segurança e rapidez, sem usar a faixa no sentido oposto, reduzindo o tempo total de viagem e melhorando o nível de serviço no segmento. A faixa adicional de subida resultará em melhor qualidade operacional da via quando dedicada para os veículos lentos, de forma que os veículos trafegando em velocidades maiores possam ultrapassá-los em segurança e sem utilizar a pista em sentido oposto (AASHTO, 2001).

O DNIT (2007) indica a implantação de faixas adicionais de subida com o objetivo de aumentar a capacidade de tráfego da rodovia. Além disso, apesar de representarem a necessidade de investimentos em determinado segmento de uma rodovia, as faixas adicionais possuem menor impacto ambiental e um menor custo de implantação em relação às obras necessárias para duplicação de um segmento já existente ou implantação de uma rodovia duplicada (Melo *et al.*, 2003).

Como a implantação das faixas adicionais pode representar um alto investimento, em rodovias de fluxo baixo pode não ser economicamente justificável ainda que o aclive do segmento seja muito acentuado, pois poucos veículos terão a sua viagem atrasada. Assim, a AASHTO (2001) propõe a combinação de três critérios para a decisão de construção da faixa adicional de subida, além das condições de segurança do tráfego, a saber: (i) fluxo de veículos no aclive superior a 200 veículos por hora; (ii) fluxo de caminhões superior a 20 veic/h; e (iii) existência de uma das seguintes condições: redução de 15 km/h ou mais na velocidade esperada de um caminhão pesado, ou nível de serviço E ou F no segmento (de acordo com o HCM), ou redução de dois ou mais níveis de serviço em comparação ao segmento imediatamente anterior de acordo com a avaliação do HCM.

A localização das faixas adicionais de subida depende da velocidade com que os caminhões se aproximam do aclive e das restrições da distância de visibilidade. Onde não há restrições de visibilidade, a faixa adicional pode iniciar após percorrido um trecho do aclive, pois a velocidade dos veículos pesados somente impactará os veículos mais rápidos após percorrer parte do aclive, devido à inércia (AASHTO, 2001).

As condições ideais das faixas adicionais incluem: (i) término após o topo do aclive, de forma que os veículos pesados possam acelerar para a velocidade anterior à subida; (ii) o retorno dos caminhões para a faixa normal para que não impacte a corrente de tráfego; (iii) ao final da faixa adicional, a distância de visibilidade para que permita a realização de ultrapassagens usando-se da faixa em sentido oposto; (iv) o “*taper*” ao final da faixa adicional de modo que permita o retorno em segurança do caminhão à faixa normal; (v) a largura deve ser a mesma das faixas normais; (vi) deve ser possível identificar imediatamente o início da faixa adicional; (vii) a sinalização horizontal da via deve proibir a realização de manobras de ultrapassagens no sentido oposto; (viii) a sinalização vertical da via deve ordenar que os caminhões trafeguem pela faixa adicional durante o aclive; e (ix) a sinalização deve indicar a proximidade do fim da faixa adicional (AASHTO, 2001).

Como os parâmetros apresentados pela AASHTO são baseados nas condições das rodovias norte-americanas (características dos veículos, condutores, entre outros fatores), Melo e Setti (2003) propuseram uma adaptação dos critérios previstos pela AASHTO para a implantação de

faixa adicional de subida em rodovias de pista simples brasileira. Foram realizadas mais de 20.000 simulações de tráfego com o TRARR para analisar o impacto no ganho de velocidade média, redução do tempo de viagem e da porcentagem de tempo viajando em pelotões.

Em contrapartida, foi ponderado o custo do investimento composto pela construção e manutenção da faixa adicional. Foi realizada uma análise de custo benefício da implantação da faixa adicional e recomendados os fluxos mínimos que justificam a construção de uma faixa adicional. Os tipos de veículos adotados para as simulações foram os mais comumente encontrados no estado de São Paulo, onde os dados foram obtidos. Ao final da análise de custo e benefício, foram apresentados os fluxos mínimos para a implantação de faixa adicional em aclives, mostrados na Tabela 3.4 (Melo e Setti, 2003).

Tabela 3.4: Fluxos mínimos, em veic/h, na hora pico e no sentido ascendente, que justificam a implantação de faixa adicional em aclives (Melo e Setti, 2003)

Rampa (%)	Comprimento (m)	Porcentagem de caminhões (%)					
		10	20	25	30	35	40
3	500	490	470	430	390	410	420
	1000	480	450	410	375	395	405
	1500	470	430	390	350	370	390
	2000	450	410	370	340	360	375
4	500	460	440	420	380	390	395
	1000	440	420	400	365	375	380
	1500	435	400	380	345	350	365
	2000	400	380	360	330	340	350
5	500	420	410	400	360	370	370
	1000	400	375	350	340	345	350
	1500	400	380	360	340	345	350
	2000	360	340	320	300	305	310
6	500	400	370	360	350	360	370
	1000	370	340	340	320	330	350
	1500	360	340	320	305	315	340
	2000	330	310	300	290	300	330
7	500	370	340	320	315	315	320
	1000	340	300	290	280	290	300
	1500	330	300	290	270	280	290
	2000	300	275	265	260	275	280
8	500	310	290	270	250	255	260
	1000	300	280	260	250	255	260
	1500	300	280	260	240	255	270
	2000	280	265	250	230	235	245

Bessa Jr. e Setti (2018) desenvolveram um modelo de tráfego para avaliar o impacto das faixas adicionais em determinadas medidas de desempenho. No caso da densidade de veículos em pelotões para segmentos com faixas adicionais ( $FDpl_d$ ), em veic/km, ela deve ser obtida em

função do comprimento da faixa adicional ( $L$ ), dada em km, e da densidade de veículos em pelotões para trechos sem faixa adicional ( $FD_d$ ), como mostra a seguinte formulação:

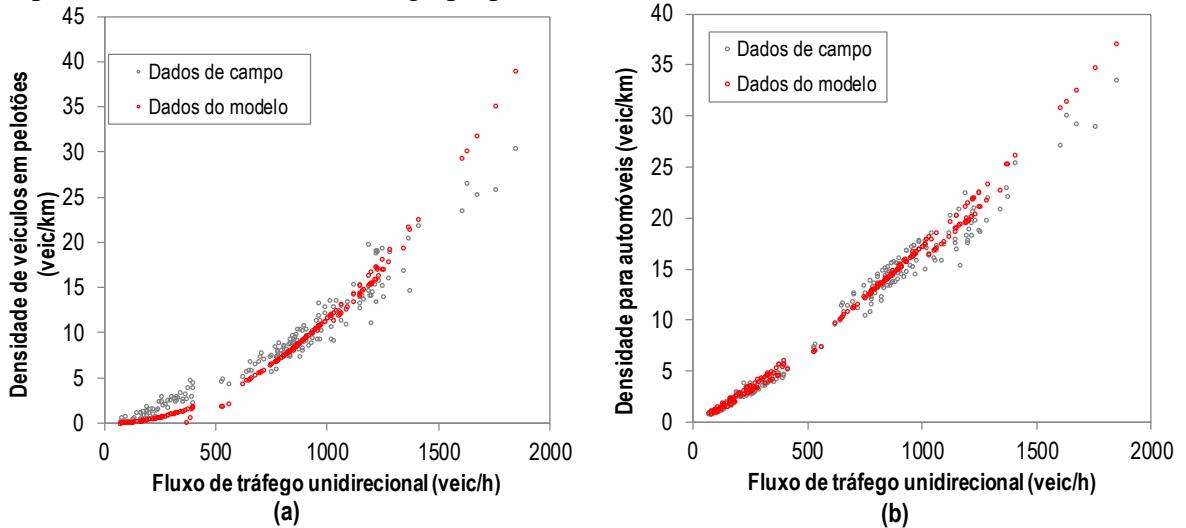
$$FDpl_d = FD_d - 0,000580 \cdot L, \quad (3.6)$$

Os modelos foram obtidos a partir do simulador de tráfego CORSIM, calibrados a partir de um Algoritmo Genético (AG) e de dados de tráfego de rodovias coletados no estado de São Paulo e de Minas Gerais. Dentre as medidas de desempenho analisadas, estão a densidade de veículos em pelotões ( $FD$ ) – definida pela Equação 3.6 – e a densidade para automóveis ( $D_{d,car}$ ) – como mostrado na Equação 3.7 – consideradas mais indicadas para calcular o nível de serviço. A Figura 3.7 apresenta comparações de  $FD$  e  $D_{d,car}$  obtidos pelos modelos propostos e obtidos em campo.

$$D_{d,car} = \frac{q_d}{ATS_{d,car}}, \quad (3.7)$$

em que  $q_d$  é o fluxo de tráfego direcional (veic/h); e  $ATS_{d,car}$  é a velocidade média de viagem dos automóveis na direção analisada (km/h).

Figura 3.7: Densidade de veículos em pelotões (a) e densidade para automóveis (b) obtidas em campo e com os modelos de tráfego propostos (Bessa Jr. e Setti, 2018)



A *FD*, especificamente, surge como uma medida de desempenho adequada para calcular o nível de serviço em rodovias de pista simples, pois é de fácil obtenção e representa bem as condições da rodovia, sendo também capaz de representar a percepção do usuário e a compatibilidade com outros tipos de rodovias. Esse resultado é corroborado por outras pesquisas (Al-Kaisy *et al.*, 2018; Bessa Jr. e Setti, 2018) e pelos estudos que estão sendo conduzidos para desenvolver o novo método do HCM (Washburn *et al.*, 2018), como mostra a seção a seguir.

### **3.3. Highway Capacity Manual 2016**

O TRB publicou, no ano de 2016, o novo HCM. Contudo, ainda não foi disponibilizado o novo capítulo referente às rodovias de pistas simples. Foi apresentado pela *National Cooperative Highway Research Program - NCHRP* um relatório que indica como será esse novo método. O TRB buscou escolher medidas de desempenho que possam refletir a percepção dos motoristas em relação à qualidade do tráfego, de modo que seja facilmente observada em campo, compatível com os outros tipos de rodovias e que seja capaz de descrever tanto as situações de congestionamento quanto as condições de fluxo não congestionado (Washburn *et al.*, 2018).

Assim, a proposta do novo método do HCM inclui a categorização em apenas duas classes de rodovias de pista simples, e não mais em três. A nova categorização é de entendimento mais fácil e objetivo, pois usa o critério de velocidade máxima regulamentar na rodovia. A primeira classe é chamada de rodovias de velocidade elevada (*Higher-Speed Highways*), cuja velocidade permitida deve ser maior ou igual a 80 km/h. A segunda classe é chamada de rodovias de baixa velocidade (*Lower-Speed Highways*) e tem como característica a velocidade regulamentar menor que 80 km/h. Nas rodovias de velocidade alta, a velocidade de tráfego e os atrasos decorrentes das zonas de ultrapassagens proibidas são fatores importantes para os motoristas. O que é diferente nas rodovias de baixa velocidade, em que, geralmente, são ligações internas das cidades e em regiões turísticas, apresentando poucas oportunidades de ultrapassagens, fazendo com que os motoristas aceitem velocidades menores.

A Washburn *et al.* (2018) afirmam que, para a determinação do nível de serviço nas zonas de ultrapassagens proibidas, o fator crítico para a qualidade do nível de serviço é o desempenho e o percentual de veículos pesados no segmento. Os segmentos em que a ultrapassagem é permitida, mas que efetivamente as ultrapassagens não acontecem por motivos diferentes que o

fluxo no sentido oposto, devem ser avaliados como uma zona de ultrapassagem proibida, sendo classificada como segmento com restrições para ultrapassagens. Nesse tipo de segmento, a qualidade do tráfego se dá em função das seguintes características:

- Análise do fluxo direcional;
- Percentual de veículos pesados na corrente de tráfego;
- Alinhamento horizontal e vertical do segmento; e
- Comprimento do segmento.

Caso a faixa adicional seja muito curta, o HCM 6 não considera como uma faixa adicional e sim como uma saída da rodovia. A efetividade de uma faixa adicional de subida para melhoria das condições de tráfego depende das seguintes características:

- Análise do fluxo direcional;
- Percentual de veículos pesados na corrente de tráfego;
- Alinhamento horizontal e vertical do segmento; e
- Comprimento da faixa adicional de subida.

Washburn *et al.* (2018) consideram como veículos pesados aqueles que possuem mais de quatro rodas em contato com o relevo durante a operação regular, abrangendo caminhões, ônibus e veículos recreacionais, e são classificados em pequeno, médio ou de grande porte, de acordo com critérios do Departamento de Transportes Norte Americano (*U.S. DOT*).

O HCM 6 propõe cinco classes de alinhamento vertical em função na redução da velocidade de fluxo livre dos veículos pesados, devido a limitação na capacidade de aceleração desses veículos. A Classe 1 corresponde a um impacto baixo nas condições de tráfego, que vai aumentando até a Classe 5, que apresenta um grande impacto na velocidade de tráfego em função dos veículos pesados. Da mesma forma, o alinhamento horizontal é classificado em função do raio e da superelevação das curvas e o impacto que geram nas condições de tráfego dos veículos pesados.

A nova medida de desempenho recomendada pelo HCM 6 é a densidade de veículos em pelotões (*FD*), que demonstra a proximidade dos veículos, refletindo as oportunidades de realização de manobras de ultrapassagens e o desconforto dos motoristas ao trafegarem em pelotões. A Tabela

3.5: Nível de Serviço HCM 6 (Washburn *et al.*, 2018) demonstra os critérios para a classificação do nível de serviço para os dois tipos de rodovias.

Tabela 3.5: Nível de Serviço HCM 6 (Washburn *et al.*, 2018)

Nível de Serviço	<u>Densidade de veículos em pelotões (veic/km/faixa)</u>	
	Rodovias de alta velocidade	Rodovias de baixa velocidade
	Velocidade permitida $\geq 80\text{km/h}$	Velocidade permitida $< 80\text{km/h}$
A	$\leq 3,2$	$\leq 4$
B	$> 3,2 - 6,4$	$> 4 - 8$
C	$> 6,4 - 12,8$	$> 8 - 16$
D	$> 12,8 - 19,2$	$> 16 - 24$
E	$> 19,2$	$> 24$

O melhor nível de serviço é o A, que pressupõe que os motoristas conseguem trafegar próximo à velocidade limite da via, e gradativamente há um aumento da densidade, até o no nível E, em que os motoristas já começam a trafegar em pelotões, refletindo em uma *FD* mais elevada. Após o nível E, considera-se que a rodovia está operando com fluxo de veículos acima da capacidade de tráfego. O cálculo da *FD* é dado como demonstrado na equação, levando em conta que o fluxo de tráfego  $v_d$  é dado em cpe/h:

$$FD = \frac{PF}{100} \cdot \frac{v_d}{ATS}, \quad (3.8)$$

em que *PF* é a porcentagem de veículos em pelotão na direção de análise;  $v_d$  é o fluxo de tráfego na direção de análise (cpe/h); e *ATS* é a velocidade média no sentido da análise (km/h).

O cálculo da *FD* para obter o nível de serviço é realizado em várias etapas que incluem a realização de ajustes para condições não básicas. Essas condições básicas são: (i) possibilidade de realização de manobras de ultrapassagens durante todo o trajeto; (ii) largura da faixa de rolamento maior ou igual a 3,6 m; (iii) largura do acostamento maior ou igual a 1,8 m; (iv) corrente de tráfego composta somente por automóveis; (v) relevo plano. A seguir, serão apresentadas, em linhas gerais, as etapas propostas pelo HCM 6 para se obter o nível de serviço, para os casos em que se tem as zonas de ultrapassagens proibidas ou faixas adicionais de subida.

A primeira etapa do método consiste em identificar o segmento de análise para que se possam determinar quais ajustes são necessários para o cálculo da *FD*, pois os fatores de ajustes são diferentes para cada tipo de geometria e de restrição observadas na rodovia. A Tabela 3.6 ilustra os comprimentos dos segmentos recomendados para o cálculo da velocidade média e da *PF*. O método considera que as faixas adicionais com comprimento superior a 4,8 km devem ser analisadas como rodovias de pista dupla e menores que 800 m devem ser considerados como segmentos com restrições para as manobras de ultrapassagens.

Tabela 3.6: Comprimentos mínimo e máximo dos segmentos para cálculo da velocidade média e do *PF* no segmento (Washburn *et al.*, 2018)

Classe Vertical	Zona de ultrapassagens proibidas		Faixa adicional de subida	
	Mínimo (km)	Máximo (km)	Mínimo (km)	Máximo (km)
1	0,4	4,8	0,8	4,8
2	0,4	4,8	0,8	4,8
3	0,4	1,8	0,8	1,8
4	0,8	4,8	0,8	4,8
5	0,8	4,8	0,8	4,8

Após identificar o tipo de segmento de análise, deve-se, no caso de faixa adicional de subida, verificar se o fluxo no segmento à jusante ainda sob efeito da faixa adicional não excede o limite de 10% do fluxo do segmento de análise. Caso contrário e o fluxo no segmento a jusante sob efeito de faixa adicional seja maior que 10% do fluxo de análise, é sugerido o uso de microssimulação para obter o efeito da faixa adicional. O fluxo de tráfego deve ser determinado conforme a equação:

$$v_i = \frac{V_i}{FHP}, \quad (3.9)$$

em que  $v_i$  é o fluxo de tráfego direcional de pico (cpe/h);  $V_i$  representa a demanda direcional (veic/h); e *FHP* é o Fator de Hora Pico.

Na sequência, deve-se determinar, com base na Tabela 3.7, a Classe do Alinhamento Vertical, que é necessária para o cálculo da velocidade de fluxo livre (*FFS*), da *ATS* e da *PF*.

Tabela 3.7: Classes de Alinhamento Vertical (Descidas entre parênteses) (Washburn *et al.*, 2018)

Comprimento do Segmento (km)	% de inclinação vertical									
	≤ 1	> 1 ≤ 2	> 2 ≤ 3	> 3 ≤ 4	> 4 ≤ 5	> 5 ≤ 6	> 6 ≤ 7	> 7 ≤ 8	> 8 ≤ 9	> 9
≤ 0,16	1(1)	1(1)	1(1)	1(1)	1(1)	1(1)	1(1)	1(1)	2(2)	2(2)
> 0,16 ≤ 0,32	1(1)	1(1)	1(1)	1(1)	2(1)	2(2)	2(2)	2(2)	3(3)	3(3)
> 0,32 ≤ 0,48	1(1)	1(1)	1(1)	2(1)	2(2)	3(2)	3(3)	3(3)	4(4)	5(5)
> 0,48 ≤ 0,64	1(1)	1(1)	2(1)	2(2)	3(2)	3(3)	4(4)	4(4)	5(5)	5(5)
> 0,64 ≤ 0,80	1(1)	1(1)	2(1)	2(2)	3(2)	4(3)	5(4)	5(5)	5(5)	5(5)
> 0,80 ≤ 0,96	1(1)	1(1)	2(1)	3(2)	3(3)	4(4)	5(5)	5(5)	5(5)	5(5)
> 0,96 ≤ 1,12	1(1)	1(1)	2(1)	3(2)	4(3)	4(4)	5(5)	5(5)	5(5)	5(5)
> 1,12 ≤ 1,28	1(1)	1(1)	2(1)	3(3)	4(4)	5(4)	5(5)	5(5)	5(5)	5(5)
> 1,28 ≤ 1,44	1(1)	1(1)	2(1)	3(3)	4(4)	5(5)	5(5)	5(5)	5(5)	5(5)
> 1,44 ≤ 1,60	1(1)	1(1)	2(2)	3(3)	4(4)	5(5)	5(5)	5(5)	5(5)	5(5)
> 1,60 ≤ 1,76	1(1)	1(1)	2(2)	3(3)	4(4)	5(5)	5(5)	5(5)	5(5)	5(5)
> 1,76	1(1)	1(1)	2(2)	4(4)	4(4)	5(5)	5(5)	5(5)	5(5)	5(5)

Então, passe-se a analisar a velocidade de fluxo livre (*FFS*), devendo ser determinada diretamente do campo ou pelo cálculo demonstrado a seguir:

$$FFS = BFFS - a(HV\%) - f_{LS} - f_a, \quad (3.10)$$

em que *BFFS* é a velocidade de fluxo livre base (km/h), calculada pelo produto da velocidade máxima regulamentada da via por 1,14; *HV%* é o percentual de veículos pesados na direção de análise; *f<sub>LS</sub>* representa o ajuste para largura da faixa de rolamento; *f<sub>a</sub>* é o ajuste para a densidade de acessos.

O parâmetro *a* dado por:

$$a = \max \left[ 0,0333, a_0 + a_1 BFFS + a_2 L + \max(0, a_3 + a_4 BFFS + a_5 L) \frac{v_o}{1000} \right], \quad (3.11)$$

em que *L* representa o comprimento do segmento de análise (km); *v<sub>o</sub>* é o fluxo no sentido oposto em veic/h, adotando-se o valor de 1.500 nas zonas com ultrapassagens proibidas e 0 nos segmentos com faixa adicional; e *a<sub>0</sub>* a *a<sub>5</sub>* são os coeficientes de ajuste, conforme Tabela 3.8.

Tabela 3.8: Coeficientes de ajuste para cálculo da FFS (Washburn *et al.*, 2018)

<b>Classe Vertical</b>	<b><i>a</i><sub>0</sub></b>	<b><i>a</i><sub>1</sub></b>	<b><i>a</i><sub>2</sub></b>	<b><i>a</i><sub>3</sub></b>	<b><i>a</i><sub>4</sub></b>	<b><i>a</i><sub>5</sub></b>
1	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
2	-0,45036	0,00814	0,01543	0,01358	0,00000	0,00000
3	-0,29591	0,00743	0,00000	0,01246	0,00000	0,00000
4	-0,40902	0,00975	0,00767	-0,18363	0,00423	0,00000
5	-0,38360	0,01074	0,01945	-0,69848	0,01069	0,12700

A Velocidade Média de Viagem (*ATS*) no segmento de análise, quando o fluxo é inferior a 100 veic/h, será igual à *FFS*. Para os segmentos em que o fluxo é maior ou igual a 100 veic/h, deverá ser calculado conforme a Equação 3.15.

$$ATS = FFS - m \left( \frac{v_d}{1000} - 0,1 \right)^p, \quad (3.12)$$

em que  $v_d$  é o fluxo na direção de análise;  $m$  é o coeficiente de inclinação; e  $p$  representa o coeficiente de potência. O cálculo do Coeficiente de inclinação  $m$  se dá de acordo com a Equação 3.16 e as etapas descritas a seguir.

$$m = \max \left[ b_5, b_0 + b_1 FFS + b_2 \sqrt{\frac{v_o}{1000}} + \max(0, b_3) \sqrt{L} + \max(0, b_4) \sqrt{HV\%} \right], \quad (3.13)$$

em que  $b_0$  a  $b_5$  são os coeficientes apresentados na Tabela 3.9 para segmentos com restrição de ultrapassagens.

Tabela 3.9: Coeficientes para o alinhamento vertical das zonas com restrições de ultrapassagens (Washburn *et al.*, 2018)

<b>Classe Vertical</b>	<b><i>b</i><sub>0</sub></b>	<b><i>b</i><sub>1</sub></b>	<b><i>b</i><sub>2</sub></b>	<b><i>b</i><sub>3</sub></b>	<b><i>b</i><sub>4</sub></b>	<b><i>b</i><sub>5</sub></b>
1	0,0558	0,0542	0,3278	0,1029	0,000	0,00000
2	5,7280	-0,0809	0,7404	Equação 3.14	Equação 3.15	3,1155
3	9,3079	-0,1706	1,1292	Equação 3.14	Equação 3.15	3,1155
4	9,0115	-0,1994	1,8252	Equação 3.14	Equação 3.15	3,2685
5	23,914	-0,6925	1,9473	Equação 3.14	Equação 3.15	3,5115

Tabela 3.10: Coeficientes para o alinhamento vertical para Faixa Adicional de Subida  
(Washburn *et al.*, 2018)

<b>Classe Vertical</b>	<b><math>b_0</math></b>	<b><math>b_1</math></b>	<b><math>b_2</math></b>	<b><math>b_3</math></b>	<b><math>b_4</math></b>	<b><math>b_5</math></b>
1	-1,1379	0,0941	0,0000	Equação 3.17	Equação 3.18	0,0000
2	-2,0688	0,1053	0,0000	Equação 3.17	Equação 3.18	0,0000
3	-0,5074	0,0935	0,0000	Equação 3.17	Equação 3.18	0,0000
4	8,0354	-0,0860	0,0000	Equação 3.17	Equação 3.18	4,1900
5	7,0991	-0,3535	0,0000	Equação 3.17	Equação 3.18	4,8700

$$b_3 = c_0 + c_1 \sqrt{L} + c_2 FFS + c_3 FFS \sqrt{L}, \quad (3.14)$$

em que  $b_3$  é o coeficiente para o alinhamento vertical;  $c_0$  a  $c_3$  representam os coeficientes para o cálculo de  $b_3$ , conforme a Tabela 3.11 para os segmentos com ultrapassagens proibidas;

Tabela 3.11: Coeficientes para cálculo do  $b_3$  em zonas de ultrapassagens proibidas (Washburn *et al.*, 2018)

<b>Classe Vertical</b>	<b><math>c_0</math></b>	<b><math>c_1</math></b>	<b><math>c_2</math></b>	<b><math>c_3</math></b>
1	0,1029	0,0000	0,0000	0,0000
2	-13,8036	0,0000	0,2446	0,0000
3	-11,9703	0,0000	0,2542	0,0000
4	-12,5113	0,0000	0,2656	0,0000
5	-14,8961	0,0000	0,4370	0,0000

Tabela 3.12: Coeficientes para cálculo do  $b_3$  em segmentos com faixa adicional de subida  
(Washburn *et al.*, 2018)

<b>Classe Vertical</b>	<b><math>c_0</math></b>	<b><math>c_1</math></b>	<b><math>c_2</math></b>	<b><math>c_3</math></b>
1	0,0000	0,2667	0,0000	0,0000
2	0,0000	0,4479	0,0000	0,0000
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	-27,1244	11,5196	0,4681	-0,1873
5	-45,3391	17,3749	1,0587	-0,3729

$$b_4 = d_0 + d_1 \sqrt{HV\%} + d_2 FFS + d_3 FFS \sqrt{HV\%}, \quad (3.15)$$

em que  $b_4$  é o coeficiente para porcentagem de veículos pesados no modelo de fluxo velocidade; e  $d_0$  a  $d_3$  são os coeficientes para o ajuste de veículos pesados, conforme a Tabela 3.13 para segmentos com ultrapassagens proibidas e Tabela 3.14 para os segmentos com faixa adicional de subida.

Tabela 3.13: Coeficientes  $d_0$  a  $d_3$  para os segmentos de ultrapassagem proibida (Washburn *et al.*, 2018)

<b>Classe Vertical</b>	<b><math>d_0</math></b>	<b><math>d_1</math></b>	<b><math>d_2</math></b>	<b><math>d_3</math></b>
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	-1,7765	0,0000	0,0392	0,0000
3	-3,5550	0,0000	0,0826	0,0000
4	-5,7775	0,0000	0,1373	0,0000
5	-18,2910	2,3875	0,4494	-0,0520

Tabela 3.14: Coeficientes  $d_0$  a  $d_3$  para os segmentos de faixa adicional de subida (Washburn *et al.*, 2018)

<b>Classe Vertical</b>	<b><math>d_0</math></b>	<b><math>d_1</math></b>	<b><math>d_2</math></b>	<b><math>d_3</math></b>
1	0,0000	0,1252	0,0000	0,0000
2	0,0000	0,1631	0,0000	0,0000
3	0,0000	-0,2201	0,0000	0,0072
4	0,0000	-0,7506	0,0000	0,0193
5	3,8457	-0,9112	0,0000	0,0170

Passa-se então para o cálculo do coeficiente de potência  $p$ , que se dá pela equação:

$$p = \max \left[ f_8, f_0 + f_1 FFS + f_2 L + f_3 \frac{v_0}{1000} + f_4 \sqrt{\frac{v_0}{1000}} + f_5 HV \% \right], \quad (3.16)$$

em que  $f_0$  a  $f_8$  são os coeficientes para o modelo de potência, sendo demonstrado para os segmentos com zona de ultrapassagens proibidas na Tabela 3.15 e 3.16 para os segmentos com faixa adicional de subida na Tabela 3.16.

Tabela 3.15: Coeficientes para o cálculo do modelo de potência em zonas de ultrapassagens proibidas (Washburn *et al.*, 2018)

<b>Classe Vertical</b>	<b><math>f_0</math></b>	<b><math>f_1</math></b>	<b><math>f_2</math></b>	<b><math>f_3</math></b>	<b><math>f_4</math></b>	<b><math>f_5</math></b>	<b><math>f_6</math></b>	<b><math>f_7</math></b>	<b><math>f_8</math></b>
1	0,67576	0,00000	0,00000	0,12060	-0,35919	0,00000	0,00000	0,00000	0,0000
2	0,34524	0,00591	0,02031	0,14911	-0,43784	-0,00296	0,02956	0,00000	0,41622
3	0,17291	0,00917	0,05698	0,27734	-0,61893	-0,00918	0,09184	0,00000	0,41622
4	0,67689	0,00534	-0,13037	0,25699	-0,68495	-0,00709	0,07087	0,00000	0,33950
5	1,13262	0,00000	-0,26367	0,18811	-0,64304	-0,00867	0,00867	0,00000	0,30590

Tabela 3.16: Coeficientes para o cálculo do modelo de potência com faixa adicional de subida  
(Washburn *et al.*, 2018)

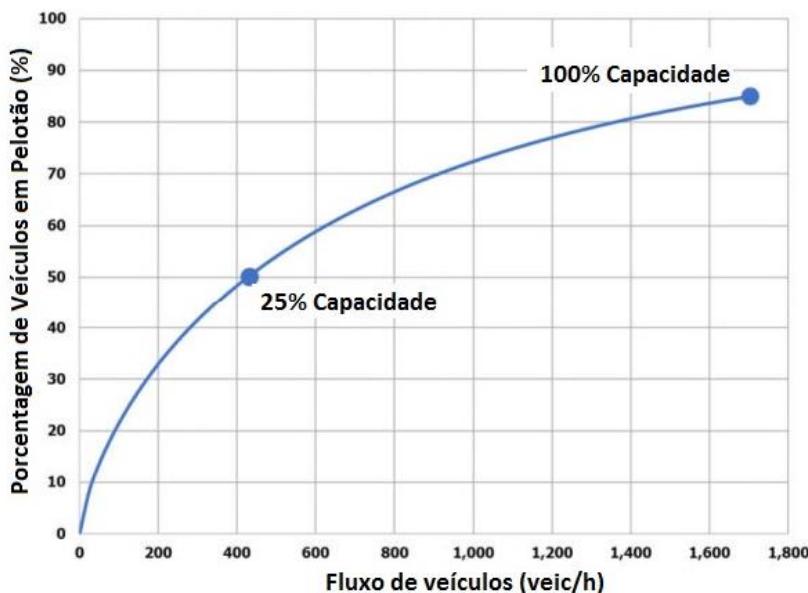
Classe Vertical	$f_0$	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$
1	0,91793	-0,00557	0,36862	0,00000	0,00000	0,00611	0,00000	-0,00418	0,00000
2	0,65105	0,00000	0,34931	0,00000	0,00000	0,00722	0,00000	-0,00391	0,00000
3	0,40117	0,00000	0,68633	0,00000	0,00000	0,02350	0,00000	-0,02088	0,00000
4	1,13282	-0,00798	0,35425	0,00000	0,00000	0,01521	0,00000	-0,00987	0,00000
5	1,12077	-0,00550	0,25431	0,00000	0,00000	0,01269	0,00000	-0,01053	0,00000

A próxima etapa do método consiste no cálculo da porcentagem de veículos em pelotões ( $PF$ ) para a capacidade da rodovia, com o uso da equação:

$$PF = 100 \cdot \left[ 1 - e^{\left( m \cdot \left\{ \frac{v_d}{1000} \right\}^p \right)} \right], \quad (3.17)$$

Entretanto, o método recomenda que, para chegar ao  $m$  e  $p$  específicos para o cálculo do  $PF$ , deve-se calcular de modo que a curva exponencial encontre dois pontos específicos entre a capacidade do segmento e um fluxo menor que o fluxo que se pretende analisar. O exemplo trazido pelo manual é utilizar o fluxo de 25% da capacidade e o fluxo na capacidade para, com o uso da Equação 3.18 e Equação 3.19, chegar se ao  $m$  e  $p$  e, por fim, calcular o  $PF$ , conforme a Figura Figura 3.8.

Figura 3.8: Curva exponencial para dois pontos do  $PF$  (Washburn *et al.*, 2018)



$$PF_{cap} = b_0 + b_1 L + b_2 \sqrt{L} + b_3 FFS + b_4 \sqrt{FFS} + b_5 HV\% + b_6 FFS \frac{v_o}{1000} + b_7 \sqrt{\frac{v_o}{1000}} \quad (3.18)$$

em que  $b_0$  a  $b_7$  são coeficientes apresentados na Tabela 3.17.

Tabela 3.17: Coeficientes  $b$  para o cálculo da  $PF_{cap}$  (Washburn *et al.*, 2018)

Classe Vertical	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	$b_7$
1	37,68080	3,05089	-7,90866	-0,94321	13,64266	-0,00050	-0,5500	7,1376
2	58,21104	5,73387	-13,66293	-0,66126	9,08575	-0,00950	-0,03602	7,1462
3	113,20439	10,01778	-18,90000	0,46542	-6,75338	-0,03000	-0,05800	10,0324
4	58,29978	-0,053611	7,35076	-0,27046	4,49850	-0,01100	-0,02968	8,8968
5	3,32968	-0,84377	7,08952	-1,32089	19,98477	-0,01250	-0,02960	9,9945

$$PF_{cap} = b_0 + b_1 L + b_2 \sqrt{L} + b_3 FFS + b_4 \sqrt{FFS} + b_5 HV\% + b_6 \sqrt{HV\%} + b_7 FFS(HV\%) \quad (3.19)$$

em que  $b_0$  a  $b_7$  são coeficientes apresentados na Tabela 3.18.

Tabela 3.18: Coeficientes  $b$  para o cálculo d a  $PF_{cap}$  em segmentos com faixa adicional (Washburn *et al.*, 2018)

Classe Vertical	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	$b_7$
1	61,73075	6,73922	-23,68853	-0,84126	11,44533	-1,5124	1,50390	0,00491
2	12,30096	9,57465	-30,79427	-1,79448	25,76436	-0,66350	1,26039	-0,00323
3	206,07369	-4,29885	0,00000	1,96483	-30,32556	-0,75812	1,06453	-0,00839
4	263,13428	5,387749	-19,04859	2,73018	-42,76919	-1,31277	-0,32242	0,01412
5	126,95629	5,95754	-19,22229	0,43238	-7,35636	-1,03017	-2,66026	0,01389

Após esse procedimento, deve ser calculada a  $PF$  para um fluxo menor do que a capacidade do segmento de análise, para os segmentos com zona de ultrapassagem proibida (Equação 3.20) e para os segmentos com faixa adicional de subida (Equação 3.21).

$$PF_{25\%cap} = c_0 + c_1 L + c_2 \sqrt{L} + c_3 FFS + c_4 \sqrt{FFS} + c_5 HV\% + c_6 FFS \frac{v_o}{1000} + c_7 \sqrt{\frac{v_o}{1000}} \quad (3.20)$$

em que  $c_0$  a  $c_7$  são coeficientes apresentados na Tabela 3.19.

.

Tabela 3.19: Coeficientes  $c$  para o cálculo d a  $PF_{25\%cap}$  em segmentos com zonas de ultrapassagens proibida (Washburn *et al.*, 2018)

Classe Vertical	$c_0$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$	$c_7$
1	18,01780	10,00000	-21,60000	-0,97853	12,05214	-0,00750	-0,6700	11,6041
2	47,83887	12,80000	-28,20000	-0,61758	5,800000	-0,04550	-0,03344	11,3557
3	125,40000	19,50000	-34,90000	0,90672	-16,10000	-0,11000	-0,06200	14,7114
4	103,13534	14,68459	-23,72704	0,664436	-11,95763	-0,10000	0,00172	14,7007
5	89,00000	19,02642	-34,54240	0,29792	-6,62528	-0,16000	0,00480	17,5661

$$PF_{25\%cap} = c_0 + c_1 L + c_2 \sqrt{L} + c_3 FFS + c_4 \sqrt{FFS} + c_5 HV\% + c_6 \sqrt{HV\%} + c_7 FFS(HV\%) \quad (3.21)$$

em que  $c_0$  a  $c_7$  são coeficientes apresentados na Tabela 3.20.

Tabela 3.20: : Coeficientes  $c_0$  a  $c_7$  para o cálculo d a  $PF_{cap}$  em segmentos com faixa adicional de subida (Washburn *et al.*, 2018)

Classe Vertical	$c_0$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$	$c_7$
1	80,37105	14,44997	-46,41831	-0,23367	0,84914	-0,56747	0,89427	0,00119
2	18,37886	14,71856	-47,78892	-1,43373	18,32040	-0,13226	0,77217	-0,00778
3	239,98930	15,90683	-46,87525	2,73582	-42,88130	-0,53746	0,76271	-0,00428
4	223,68435	10,26908	-35,60830	2,31877	-38,30034	-0,60275	-0,67758	0,00117
5	137,37633	11,00106	-38,89043	0,78501	-14,88672	-0,72576	-2,49546	0,00872

Após o cálculo da  $PF_{cap}$  e da  $PF_{25\%cap}$ , deve-se, então, calcular os coeficientes  $m$  e  $p$ , conforme apresentado nas equações 3.25 e 3.26, respectivamente.

$$m = d_1 \left( \frac{0 - \ln \left[ 1 - \frac{PF_{25\%}}{100} \right]}{0,25 \cdot \left[ \frac{cap}{1000} \right]} \right) + d_2 \left( \frac{0 - \ln \left[ 1 - \frac{PF_{25\%}}{100} \right]}{\left[ \frac{cap}{100} \right]} \right), \quad (3.22)$$

em que  $d_1$  e  $d_2$  são coeficientes conforme a Tabela 3.21.

Tabela 3.21: Coeficientes  $d_1$  e  $d_2$  para o cálculo do coeficiente de inclinação  $m$  (Washburn *et al.*, 2018)

Segmento	$d_1$	$d_2$
Zona de ultrapassagem proibida	-0,29764	-0,71917
Faixa adicional de subida	-0,15808	-0,83732

$$p = e_0 + e_1 \left( \frac{0 - \ln \left[ 1 - \frac{PF_{\%cap}}{100} \right]}{\%cap \left[ \frac{cap}{1000} \right]} \right) + e_2 \left( \frac{0 - \ln \left[ 1 - PF_{cap} \right]}{\left[ \frac{cap}{1000} \right]} \right) + e_3 \sqrt{\frac{0 - \ln \left( 1 - \frac{PF\%cap}{100} \right)}{\%cap \left[ \frac{cap}{1000} \right]}} + e_4 \sqrt{\frac{0 - \ln \left( 1 - \frac{PF_{cap}}{100} \right)}{\left[ \frac{cap}{1000} \right]}} \quad (3.23)$$

em que  $e_0$  a  $e_4$  são coeficientes apresentados na Tabela 3.22.

Tabela 3.22: Coeficientes  $e_0$  a  $e_4$  para o cálculo de  $p$  (Washburn *et al.*, 2018)

Segmento	$e_0$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$
Zona de ultrapassagem proibida	0,81165	0,37920	-0,49524	-2,11289	2,41146
Faixa adicional de subida	-1,63246	1,64960	-4,45823	-4,89119	10,33057

Após esse cálculo, deverá ser calculada a  $PF$  do segmento com o uso da equação 3.17. Somente após esses processos, deverá ser calculada  $FD_d$  com a equação 3.8. Por fim, o resultado deverá ser usado para obter o nível de serviço com base na Tabela 3.5.

Assim, diante da quantidade de coeficientes de ajustes que o novo método propõe, fica ainda mais clara a necessidade de se estudar as condições locais para que o nível de serviço seja compatível com a realidade das rodovias e dos motoristas e veículos que utilizam a infraestrutura.

#### **4. COLETA DE DADOS DE TRÁFEGO**

Nesta seção, são apresentados os métodos usados nesta pesquisa para realização de coleta de dados de tráfego, bem como as características geométricas dos segmentos observados. A principal base de dados usada consiste em posicionar câmeras de vídeo nas extremidades e em pontos intermediários de trechos selecionados para obter informações como as velocidades médias de viagem, a composição veicular e os *headways* dos veículos.

As coletas de dados foram planejadas levando em consideração a obtenção de correntes de tráfego de modo que se tenha um conjunto diverso, seja do ponto de vista da magnitude do fluxo de tráfego, seja considerando-se a geometria dos trechos. Pensando nisso, foram realizadas vistorias na BR-040, rodovia escolhida para obtenção de dados de tráfego, em busca de locais em que fossem observados fluxos elevados durante o dia.

No trabalho de Bessa Jr. (2015), foram desenvolvidos modelos de tráfego, como a relação fluxo-velocidade, a partir de dois parâmetros: o *Rise and Fall (RF)* – para representar o alinhamento vertical – e a curvatura *bendiness (BD)* – que representa o alinhamento horizontal. O *RF* é definido como a quantidade de subidas e descidas, em metros, de um determinado segmento com o comprimento dado em km, sendo, portanto, o *RF* dado em m/km. Foram estabelecidas cinco classes de alinhamentos verticais, a saber:  $0 \leq RF \leq 20$  m/km;  $20 < RF \leq 40$  m/km;  $40 < RF \leq 60$  m/km;  $60 < RF \leq 80$  m/km; e  $RF > 80$  m/km. O parâmetro *BD*, por sua vez, é definido como o somatório das mudanças angulares no alinhamento horizontal, dado em graus, em um determinado segmento de rodovia com comprimento dado em km. De maneira análoga ao *RF*, o alinhamento horizontal também pode ser categorizado da seguinte forma:  $0 \leq BD \leq 50$  °/km;  $50 < BD \leq 100$  °/km;  $100 < BD \leq 150$  °/km;  $150 < BD \leq 200$  °/km; e  $BD > 200$  °/km. Foram desenvolvidos modelos de tráfego apenas para quatro tipos de geometria viária (combinações das categorias de *RF* e *BD*), como pode ser visto na Tabela 4.1, uma vez que só foram obtidos dados de campo nesses tipos de rodovia.

Tabela 4.1: Classificação dos segmentos observados com filmadoras em função da geometria  
(Bessa Jr., 2015)

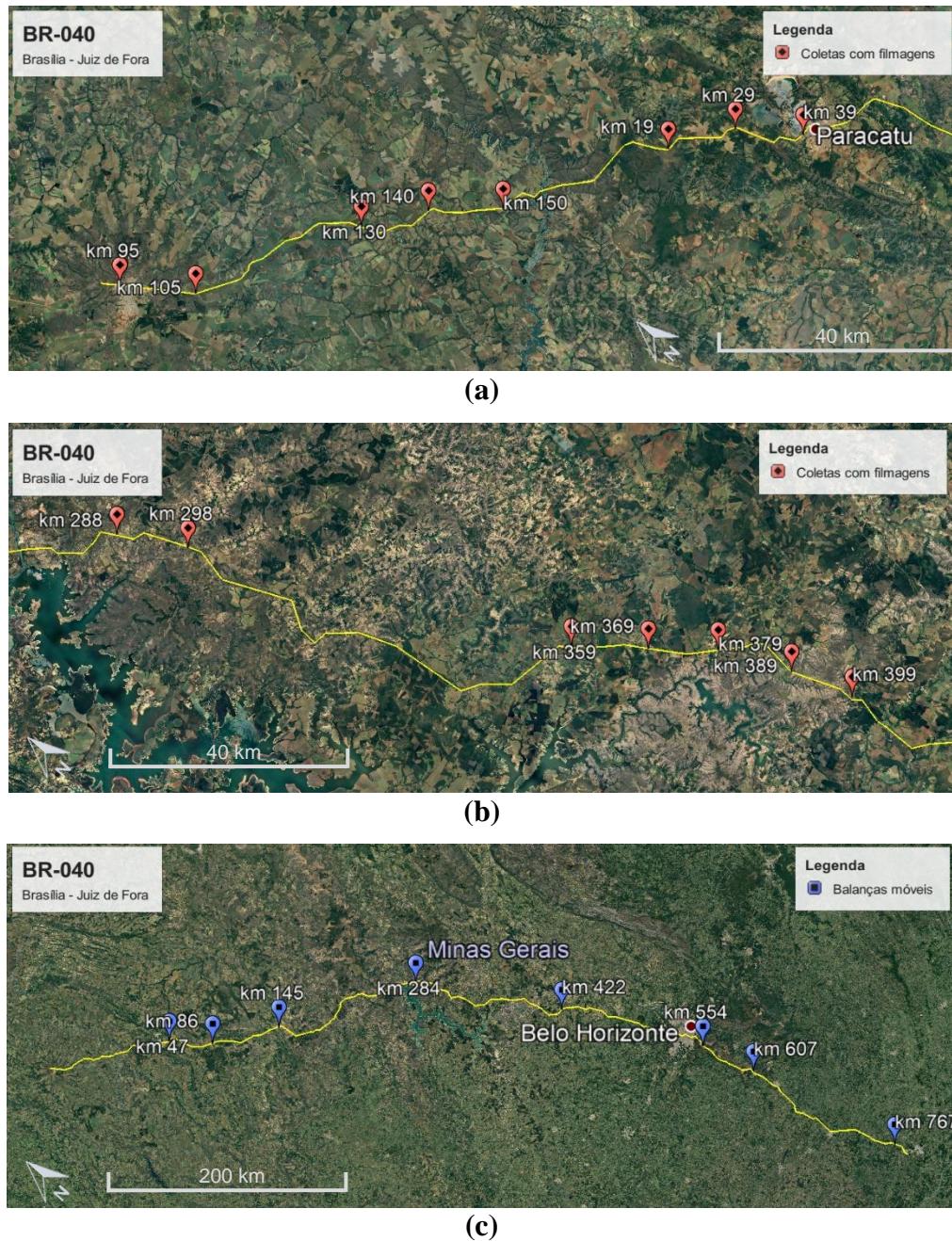
<b><i>RF (m/km)</i></b>	<b><i>BD (graus/km)</i></b>				
	<b>0-50</b>	<b>50-100</b>	<b>100-150</b>	<b>150-200</b>	<b>&gt;200</b>
0-20	7	-	-	1	-
20-40	7	-	1	-	-
40-60	-	-	-	-	-
60-80	-	-	-	-	-
>80	-	-	-	-	-

Embora, nesta pesquisa, não tenham sido produzidos modelos de tráfego com base em *RF* e *BD* (como pode ser visto em capítulos subsequentes), a escolha dos locais de coleta de dados de tráfego procurou segmentos viários para realização de coletas de dados de tráfego que tivessem valores de *RF* e *BD* diversos, e, consequentemente, alinhamentos vertical e horizontal de vários níveis. Foram realizadas vistorias ao longo da BR-040, entre os municípios de Curvelo-MG e Cristalina-GO, além da análise do perfil geométrico da via com auxílio de GPS e do Google Earth.

De posse dos dados de volume de tráfego do primeiro semestre de 2017 das praças de pedágio do trecho, buscou-se identificar os períodos com fluxos de tráfego maiores, o que ocorreu durante os feriados da Semana Santa e do 7 de Setembro tanto perto de Curvelo-MG (que é mais próxima de Belo Horizonte - MG), quanto em Cristalina-GO (cidade mais perto de Brasília-DF). Sendo assim, foram selecionados cinco trechos da BR-040, próximos à Cristalina-GO (durante a Semana Santa de 2018) e próximos a Curvelo (durante o feriado da Independência de 2018).

A maior parte dos dados foi obtida com o método das placas, que consiste em determinar o número de veículos que passam por um determinado trecho viário em um dado período de tempo, classificando-os por categoria, sentido, pelo registro do instante da passagem dos veículos e das placas na entrada e saída dos trechos que contam com os pesquisadores posicionados na lateral da via. No total, na pesquisa realizada durante a Semana Santa de 2018, foram pesquisadas oito seções, sendo que em cada ponto havia dois pesquisadores, por sentido de tráfego. Em Cristalina-GO, foram realizadas coletas em cinco seções, nas tardes de quinta-feira e domingo do feriado da Semana Santa de 2018. Na manhã de 30 de março de 2018, a coleta foi realizada em pontos no município de Paracatu-MG. A Figura 4.1 mostra as seções em que esse método foi aplicado, assim como o posicionamento das balanças móveis.

Figura 4.1: Marcos quilométricos das coletas com filmagens nos feriados da Semana Santa (a) e da Independência (b); e das balanças móveis (c)



Para a coleta de dados, foram usados: gravadores para o registro das informações do instante de passagem do veículo, placa e categoria veicular; câmeras para o registro de imagem no local e para auxiliar na captação do áudio; cronômetros para o controle do tempo; e rádios *walk-talk*

para comunicação entre os pesquisadores de campo. Durante a Semana Santa de 2018, foram realizadas pesquisas de tráfego nos seguintes dias e horários:

- 29 de março de 2018, das 13:00 h às 17:00 h, nos trechos entre os km's 95 e 105; 130 e 140; e 140 e 150;
- 30 de março de 2018, das 8:00 h às 12:00 h, nos trechos entre os km's 19 e 29; e 29 e 39; e
- 1 de abril de 2018, das 13:00 h às 17:00 h, novamente nos trechos entre os km's 95 e 105; 130 e 140; e 140 e 150.

Na Tabela 4.2, são apresentadas as informações sobre a geometria viária dos trechos analisados na Semana Santa de 2018. Todos os trechos de análise têm o *BD* entre 0 e 50 graus/km. Já quanto ao alinhamento vertical, um segmento tem *RF* entre 0 e 20 m/km, enquanto outros quatro trechos têm *RF* entre 20 e 40 m/km. A

Tabela 4.3 apresenta tanto o mínimo quanto o máximo dos fluxos de tráfego encontrados, por sentido, com o mínimo e o máximo da velocidade média de viagem, por sentido.

Tabela 4.2: Segmentos observados na Semana Santa de 2018

<b>km inicial</b>	<b>km final</b>	<b>UF</b>	<b>Extensão (km)</b>	<b>RF (m/km)</b>	<b>BD (graus/km)</b>
95	105	GO	10	24	3
125	135	GO	10	16	8
135	145	GO	10	34	18
130	140	GO	10	28	19
140	150	GO	10	29	12

Tabela 4.3: Fluxos e velocidade média observados na Semana Santa de 2018

km inicial	km final	Fluxo Sentido GO- MG (veic/h)		Fluxo Sentido MG-GO (veic/h)		Velocidade média (km/h)	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
95	105	92	148	32	88	80	112
125	135	54	280	16	768	46	94
135	145	52	192	16	92	76	95
130	140	48	368	336	1200	71	103
140	150	16	352	336	1024	77	124

Figura 4.2 Perfis vertical e horizontal do trecho entre os km's 96 e 105 da BR-040

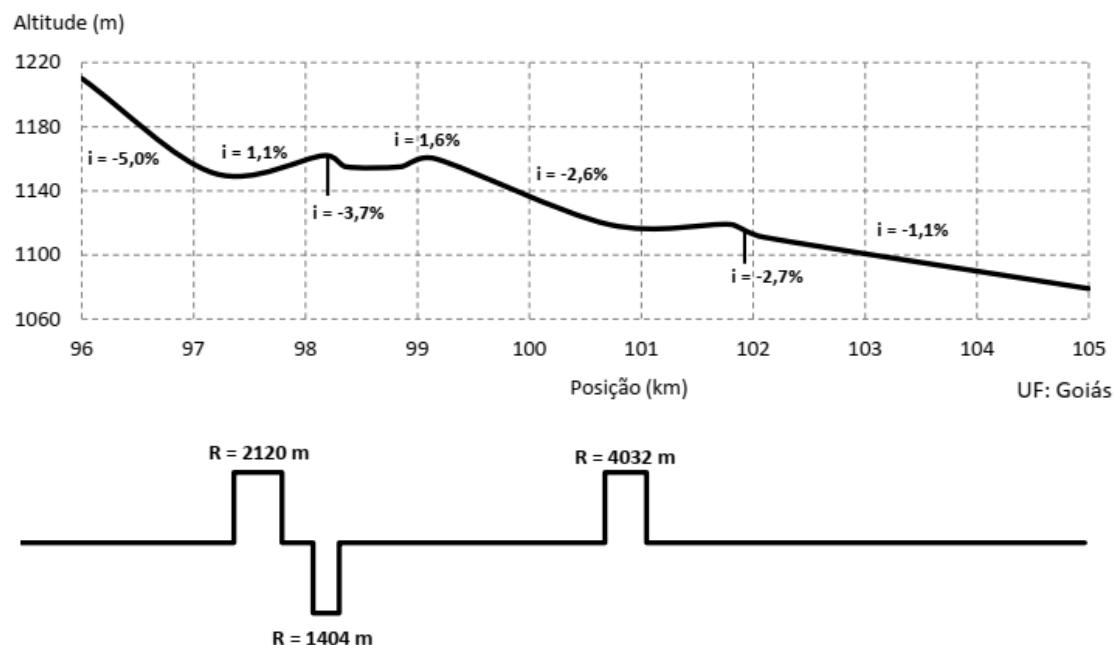
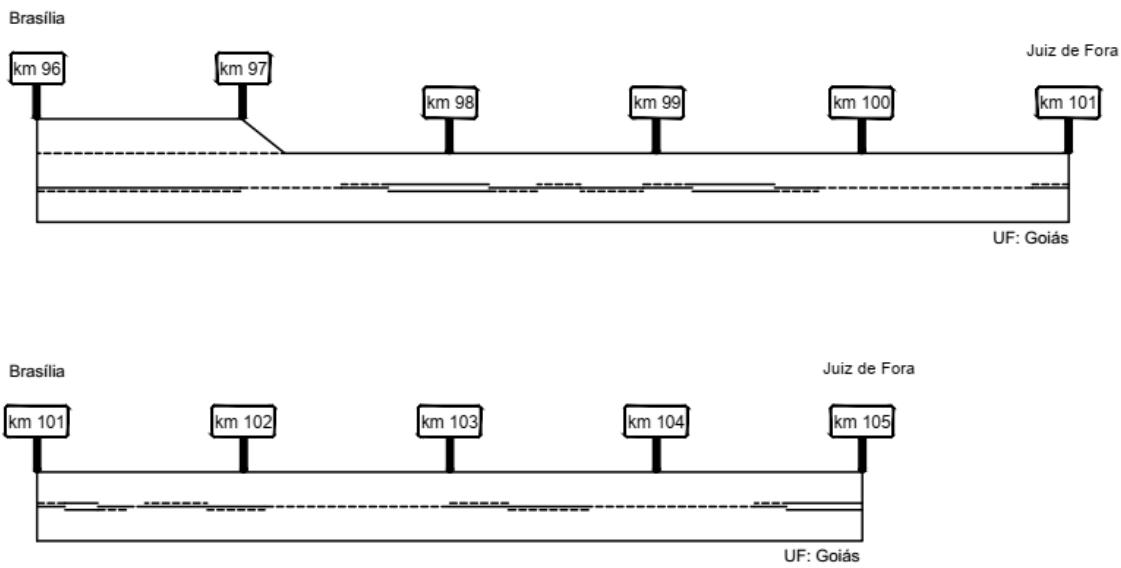


Figura 4.3: Sinalização horizontal do trecho entre os km's 96 e 105 da BR-040



Os perfis verticais e horizontais dos trechos coletados foram organizados como mostrado na Figura 4.2, enquanto a sinalização horizontal (com as zonas de ultrapassagens proibidas e localização de faixas adicionais) podem ser vistas na Figura 4.3, sendo essas figuras referentes aos km's 96 a 105 da BR-040. Os demais trechos, incluindo os do Feriado da Independência, podem ser vistos no Apêndice A.

A segunda etapa da coleta de dados de tráfego foi com uma coleta ocorrida nos dias 7 e 9 de setembro de 2018 na rodovia BR-040, nas proximidades dos municípios de Felixlândia e São Gonçalo do Abaeté, localizados em Minas Gerais. Para a escolha dos trechos de análise, foi observado o fluxo de veículos no feriado de 2017 a partir da contagem de veículos das praças de pedágio próximas ao segmento. Os dados de tráfego foram obtidos nos seguintes dias e horários:

- 7 de setembro, das 9 h às 13 h, nos trechos entre os km's 288 e 298;
- 9 de setembro, das 13 h às 17 h, nos trechos entre os km's 359 e 399.

Nas Tabelas 4.4 e 4.5 estão elencadas, respectivamente, as informações sobre a geometria viária e uma síntese dos dados de fluxo e velocidade obtidos. A Figura 4.4 apresenta a relação fluxo-

velocidade direcional obtida nas coletas de dados, para correntes de tráfego agregadas a cada 15 minutos.

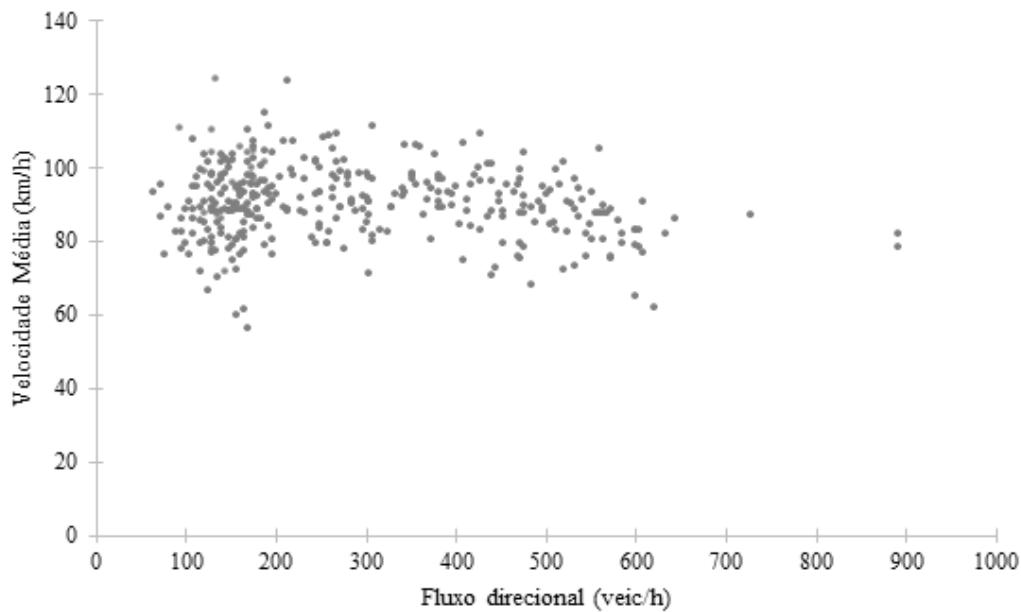
Tabela 4.4: Segmentos observados no feriado da Independência de 2018

<b>km inicial</b>	<b>km final</b>	<b>UF</b>	<b>Extensão (km)</b>	<b>RF (m/km)</b>	<b>BD (graus/km)</b>
288	298	MG	10	38,7	24,5
359	369	MG	10	22,04	5,5
369	379	MG	10	29,7	5,9
379	389	MG	10	25,94	9,5
389	399	MG	10	26,7	22,1

Tabela 4.5: Fluxos e velocidade média observados no feriado da Independência de 2018

<b>km inicial</b>	<b>km final</b>	<b>Fluxo Sentido GO- MG (veic/h)</b>		<b>Fluxo Sentido MG-GO (veic/h)</b>		<b>Velocidade média (km/h)</b>	
		<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
288	298	140	208	128	319	77,5	107
359	369	380	728	100	268	73	112
369	379	352	584	64	204	72	110
379	389	300	892	72	196	76	106
389	399	412	644	76	180	63	95

Figura 4.4: Relação fluxo-velocidade direcional para os segmentos viários observados



Por fim, a etapa da coleta de dados de tráfego foi completada com uma coleta ocorrida em março de 2019 com o objetivo específico de avaliar o comportamento de motoristas em curvas, conforme será detalhado na sequência.

#### 4.1. Coleta de dados com veículo aéreo não tripulado (Drone)

Com o recente desenvolvimento da tecnologia dos veículos aéreos não tripulados (*drones*), que possibilitou a redução do custo desses equipamentos, algumas pesquisas na área de transportes começaram a ser conduzidas com o suporte de *drones* para a coleta de dados.

Khan *et al.* (2016) apresentaram uma proposta para a realização de pesquisas em que a coleta de dados são feitas com drones, estruturando-se em sete etapas: (i) definição do escopo; (ii) planejamento de voo; (iii) realização do voo; (iv) obtenção dos dados; (v) processamento e análise dos dados; (vi) interpretação dos dados; e (vii) aplicação dos resultados. Destaca-se que essa proposta se assemelha, em linhas gerais, ao processo de desenvolvimento planejado para esta pesquisa.

Uma indagação que pode ser realizada a partir do uso de drones para pesquisas de tráfego está relacionada com a acurácia dos dados obtidos. Nesse sentido, Barmpounakis *et al.* (2017)

realizaram um estudo que procurou verificar a acurácia de diferentes tipos de dados obtidos com o uso de um drone equipado com câmeras para filmagem, incluindo para a observação da velocidade de percurso dos automóveis. Utilizando-se de um veículo teste equipado com GPS e um drone estático em relação a rodovia e com altitude controlada, os autores concluíram que os erros não excederam a 1,2 km/h mesmo que haja variações na altitude em que o drone está posicionado. Contudo, ressalta-se que o levantamento foi realizado em um segmento de baixo volume de tráfego e o veículo realizou um trajeto pré-determinado.

Mais recentemente, Lisel (2018) usou um software para realizar o rastreamento de objetos em imagens capturadas por drone num ambiente urbano, com o objetivo de calibrar o simulador VISSIM. Foram realizadas observações da distância entre os veículos parados a partir da marcação de veículos parados no sinal semafórico.

Para esta pesquisa, e com o intuito principal de registrar ultrapassagens em zonas permitidas com e sem faixas adicionais em rodovias de pista simples, foi adquirido o quadricóptero portátil Mavic Pro (DJI, 2017). O equipamento possui uma câmera estabilizada que captura vídeos em qualidade 4K, fotos de 12 megapixels, modos de voo inteligentes e recurso de desvio de obstáculos. Alcança uma velocidade máxima de voo de 65 km/h e um tempo máximo de voo de 27 minutos. Na Figura 4.5, é possível observar o Mavic Pro.

Figura 4.5: Drone Mavic Pro



Alguns voos foram realizados com o Mavic Pro com o intuito de planejar filmagens de trechos de rodovias de pista simples da BR-040 de modo que pudessem ser analisadas as ultrapassagens

em zonas permitidas e em locais com faixas adicionais. De acordo com a legislação brasileira (Agência Nacional de Aviação Civil, 2017), não podem ser realizados voos com mais de 120 m de altura, o que delimita a observações de trechos de ultrapassagens com comprimento suficiente para observação das manobras. O posicionamento escolhido para obtenção dos dados de tráfego foi de forma semelhante ao observado na Figura 4.6.

Figura 4.6: Posicionamento do Mavic Pro para obtenção dos dados

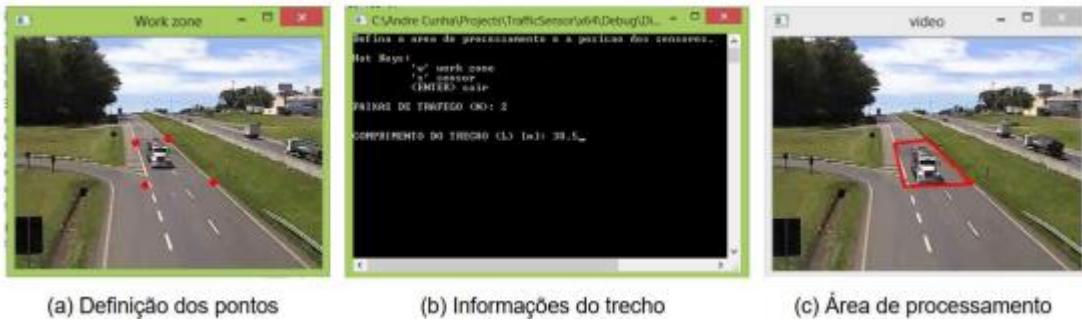


Diante do posicionamento do *drone*, foi necessário avaliar como tratar as imagens para que os dados obtidos fossem confiáveis. Jacobsen e Cybis (2011) analisaram imagens captadas do topo de uma edificação com o objetivo de capturar a travessia de pedestres em que as medidas e os ângulos reais não são preservados. Então, foi aplicada uma transformação geométrica para viabilizar o uso das imagens para rastreamento das posições, distâncias e velocidades reais dos objetos e para que os objetos mais distantes pudessem ter seus contornos marcados com maior precisão.

Nesta pesquisa, para corrigir as distorções das distâncias com o drone posicionado em direção ao horizonte, foi utilizado um programa (Cunha, 2013) para transformar a perspectiva da

imagem de modo que a rodovia possua um formato retangular. Para isso, é necessário indicar, no programa, qual a zona em que se deseja fazer a correção da perspectiva, informando também o comprimento dessa zona. A Figura 4.7 mostra como essa indicação da zona deve ser feita.

Figura 4.7: Definição da área de processamento (Cunha, 2013)



Para que as escalas de distâncias pudessem ser identificadas nos vídeos dos drones, foram posicionados cones no bordo da pista, como indica a Figura 4.8. Dessa forma, foi possível determinar parâmetros de submodelos comportamentais do VISSIM relacionados com as manobras de ultrapassagens em rodovias de pista simples. O resultado perspectiva transformada pode ser visto na Figura 4.9.

Figura 4.8: Posicionamento de cones na pista



Figura 4.9: Aplicação da perspectiva transformada



## 4.2. Coleta de dados em curvas horizontais

Durante o andamento da pesquisa, foi necessário calibrar o comportamento dos condutores nas curvas horizontais, para que as simulações pudessem ser mais condizentes ao comportamento observado em campo, uma vez que não há um modelo específico no VISSIM para curvas horizontais. Para isso, foi realizada uma coleta de dados específica em março de 2019 para obter informações dos comportamentos dos condutores nas curvas horizontais. A coleta foi realizada entre os km's 395 e 404, próximos ao município de Curvelo. A Figura 4.10 abaixo demonstra o perfil horizontal do segmento analisado.

Figura 4.10: Perfil das Curvas Horizontais



A coleta consistiu em acompanhar o desenvolvimento dos veículos leves e pesados em segmento pré-determinado da rodovia e registrar todas as informações com um GPS. Foi registrado o percurso de 20 automóveis e 10 caminhões, entre leves, médios, pesados e extrapesados. Então, foram consideradas as curvas horizontais que se sucederam a segmentos de tangentes maiores de 500 m.

O objetivo foi capturar o comportamento e a velocidade dos veículos livres e observar a alteração de velocidade quando trafegando em curvas. Nesse sentido, foram analisadas as seguintes variáveis dependentes da velocidade em curva: (i) a velocidade do veículo livre quando trafegando em tangentes maiores que 500 m (velocidade desejada); (ii) a inclinação da curva; (iii) o raio da curva; e (iv) o desenvolvimento da curva.

Entretanto, para os veículos leves, foi identificado que o raio e o desenvolvimento da curva não apresentaram correlação com a velocidade em curva. Dessa forma, optou-se por uma simplificação do tratamento das curvas horizontais analisando-se a redução de velocidade apenas em função da velocidade em tangente. Muito provavelmente, os motoristas reduzem um

pouco a velocidade nas curvas em função de segurança para realização das manobras, mas não foi possível correlacionar com os outros atributos esperados. Assim, foi realizada regressão para obtenção do modelo simplificado, que apresentou um  $R^2$  de 0,98. O modelo obtido foi:

$$v_{\text{curva}} = 0,95v_{\text{tangente}}, \quad (3.1)$$

A aplicação desse modelo foi realizada na modelagem dos trechos obtidos por filmagem no VISSIM, especialmente para a calibração e a validação do simulador.

## **5. AVALIAÇÃO, ESCOLHA E APRENDIZADO DO SIMULADOR DE TRÁFEGO**

Como relatado no relatório final da 1<sup>a</sup> fase do projeto, foi realizada uma análise do simulador mais adequado para modelar rodovias de pista simples. Depois de analisada as funcionalidades de, ao menos quatro simuladores, o alemão VISSIM foi escolhido por ser um dos softwares mais utilizados no mundo e ser constantemente atualizado, com a integração, ainda, com o módulo voltando para pedestres (VISWALK), além de ter a modelagem de rodovias de pista simples recentemente adicionado à sua lista de funcionalidades. Foi realizado um treinamento da equipe envolvida, cuja programação envolveu, além da discussão sobre as ferramentas de macro e mesossimulação e os pacotes de programação (como o API Package), o seguinte conteúdo:

**Curso de Microssimulação PTV VISSIM Iniciado + Avançado (3 dias | 24 horas):**

1. Introdução à Microssimulação de Transportes e ao PTV VISSIM;
2. Princípios básicos de utilização do *software*;
3. Desenvolvimento de rede no VISSIM;
4. Modelagem da demanda e escolha de percursos;
5. Características de tipos de veículos e tipologias de fluxos;
6. Definição de regras de preferência e semaforização em cruzamentos;
7. Modelos de comportamento;
8. Funções de distribuição;
9. Modelagem de Transporte Coletivo;
10. Análises de desempenho; e
11. Gravação de vídeos e apresentação de resultados.

**Curso de Microssimulação PTV VISWALK (1 dia | 8 horas):**

1. Introdução à Microssimulação de Pedestres e ao PTV VISWALK;
2. Características de tipos de pedestres e tipologias de fluxos;
3. Infraestrutura física e definição de níveis;
4. Rotas estáticas e matrizes origem-destino;
5. Conexão ao sistema de transporte coletivo;
6. Análises de desempenho; e
7. Gravação de vídeos e apresentação de resultados.

## **6. CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO SIMULADOR DE TRÁFEGO**

O comportamento dos motoristas ao realizar manobras de ultrapassagens tem sido incorporado nos simuladores de tráfego nos últimos anos para permitir a simulação de rodovias de pista simples. Isso tem ocorrido tanto com aqueles softwares mais comerciais, como aqueles voltados essencialmente para trabalhos de pesquisa. O TRARR (Hoban *et al.*, 1991) e o TWOPAS (Leiman e May, 1996) foram, durante muito tempo, os simuladores mais utilizados para modelagem de rodovias de pista simples. O TWOPAS foi empregado no desenvolvimento do método para análise da capacidade e do nível de serviço desse tipo de rodovia do HCM 1985 (TRB, 1985; Harwood *et al.*, 1999), no HCM 2000 (Harwood *et al.*, 1999; TRB, 2000) e no HCM 2010 (TRB, 2010).

Há outros softwares capazes de simular rodovias de pista simples, mas que são voltados principalmente para pesquisas, tais como o sueco RUTSIM (*Rural Traffic Simulator*) (Tapani, 2005); o alemão LASI, que foi usado no desenvolvimento dos procedimentos do HBS2001 para esse tipo de rodovia (Brilon e Weiser, 2006); e o finlandês HUTSIM (TKK, 2011).

Daqueles softwares que podem ser adquiridos comercialmente, destaque para quatro simuladores que incorporaram a modelagem de rodovias de pista simples recentemente, o CORSIM (McTrans, 2010), o TransModeler (Caliper, 2018), o VISSIM (PTV, 2017) e o AIMSUN (TSS, 2018). Desses, o CORSIM foi o primeiro a incorporar esse tipo de modelagem, como explicado em Washburn e Li (2010), com a manobra de ultrapassagem tendo sido fortemente baseada no modelo analítico do *Green Book* (AASHTO, 2001).

O VISSIM é um dos principais programas de simulação microscópica para modelar operações de transporte multimodal e pode ser usado para criar diferentes cenários de tráfego em detalhes com uma abordagem dinâmica e estocástica (PTV, 2018). Possui submodelos comportamentais, como os de *car-following*, de mudanças de faixa, de aceitação de brechas e de desempenho veicular.

Como a lógica de simulação em rodovias de pista simples do VISSIM teve que ser incorporada para se adequar a outros submodelos do simulador já existentes, surge a necessidade de calibrar e validar o modelo de simulação para esse tipo de rodovia, frente a diferentes níveis de demanda,

de porcentagem de veículos pesados e diferentes configurações de zonas de ultrapassagens proibidas.

Como cada grupo de parâmetros comportamentais de motoristas inclui inúmeras possibilidades de ajustes, é importante determinar previamente quais parâmetros são mais importantes. Hollander e Liu (2008) propõem organizar os parâmetros em grupos a fim de determinar quais são os parâmetros efetivamente relevantes para calibração. Esses grupos são:

1. Parâmetros facilmente obtidos em campo;
2. Parâmetros disponíveis em estudos anteriores e que podem ser replicados para a situação de análise;
3. Parâmetros que não influenciam os dados de saída e, portanto, não precisam ser selecionados para calibração. Para determinar se um parâmetro influencia ou não os dados de saída, sugere-se realizar uma análise de sensibilidade em que os parâmetros são variados individualmente ou em conjunto;
4. Parâmetros que não são necessários na modelagem. É o caso de simulações para analisarem o comportamento de automóveis, e que, portanto, não é necessário ajustar os parâmetros de veículos pesados, por exemplo.
5. Todos os demais parâmetros que não puderem ser classificados conforme descrito acima devem ser considerados para calibração.

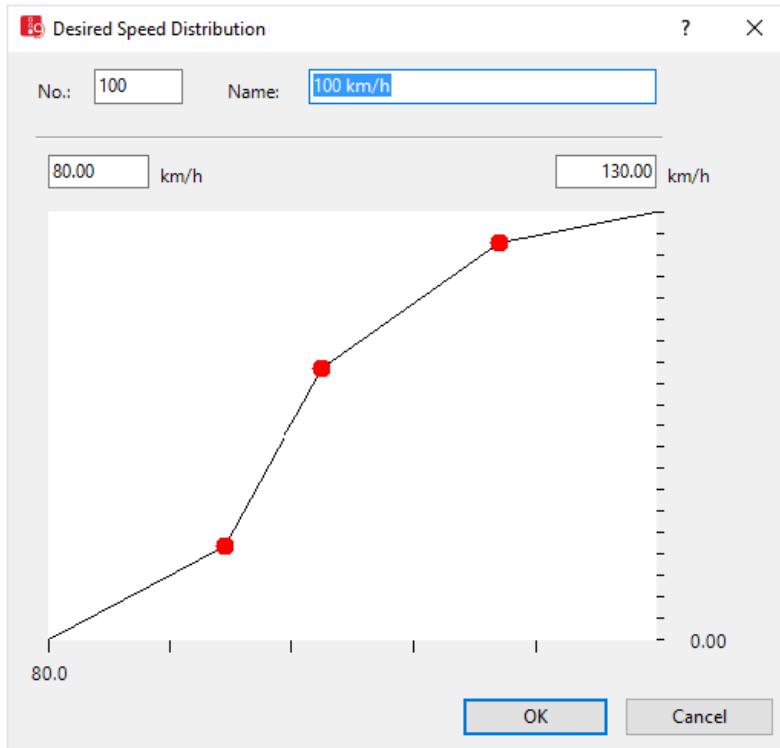
A partir dessa abordagem, foi possível reduzir o grupo de parâmetros de calibração do VISSIM, que será utilizado nesta pesquisa, uma vez que serão modeladas correntes de tráfego ininterruptas e microssimuladas. Assim, não foi necessário analisar os parâmetros de calibração relacionados com interseções semafORIZADAS e voltados para simulações mesoscópicas.

Dentre os parâmetros obtidos diretamente do campo, há aqueles utilizados para compor o modelo, como, por exemplo, as características dos veículos pesados e a distribuição de velocidades desejadas. Ainda assim, restaram 38 parâmetros – relacionados com os submodelos comportamentais – para análise de relevância para calibração. A caracterização dos veículos pesados é apresentada no Capítulo 9, enquanto o item a seguir trata das velocidades desejadas.

## 6.1. Caracterização da curva de velocidades desejadas

O VISSIM trabalha com uma distribuição das velocidades desejadas, conforme pode ser observado na Figura 6.1. Nesta seção, é apresentado o método usado para estimar essa curva, para refletir o que ocorre nos trechos observados em campo por meio de filmagens.

Figura 6.1: Distribuição *default* de velocidades desejadas do VISSIM



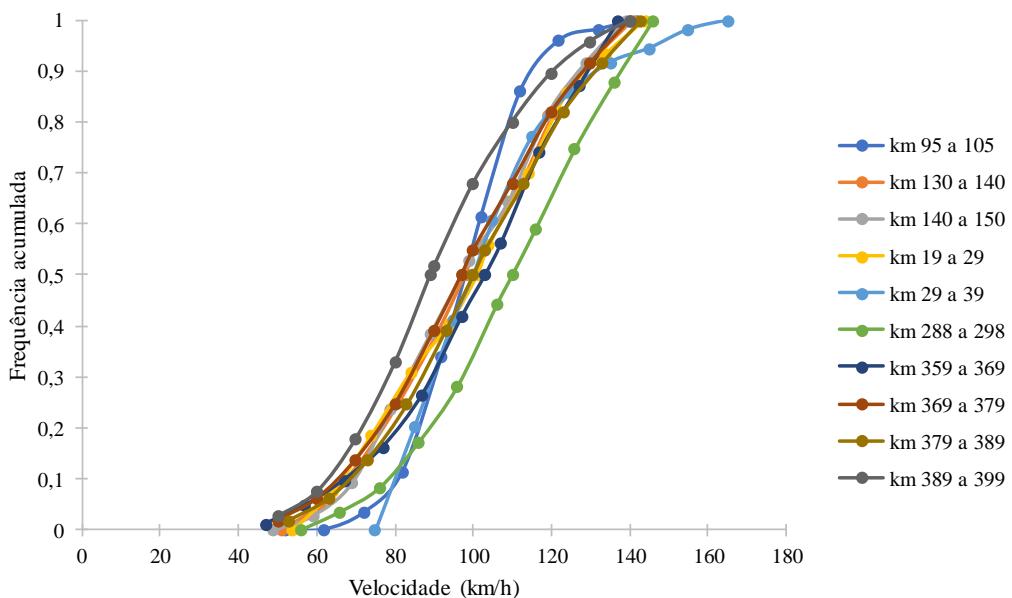
Para esta pesquisa, foram obtidos dados de velocidades pontuais registrando-se o momento de passagem em seções de segmentos viários (entrada e saída). Com esses dados, foi possível observar os veículos que estiveram em pelotões, considerados nesse estado quando os veículos trafegam com *headways* iguais ou menores que 2,5 segundos (valor crítico usado no HCM 2016). Os veículos que foram observados com *headways* maiores que 2,5 segundos são considerados veículos livres, que, teoricamente, trafegam na velocidade desejada.

Entretanto, após as primeiras simulações realizadas no VISSIM, foi identificado que a velocidade pontual não estava representando corretamente a velocidade média efetivamente observada em todos o segmento. Esse fato pode estar relacionado a alguma característica

geométrica do final dos trechos ou a alguma visualização das equipes de coleta de dados que fazia com que os motoristas reduzissem a velocidade dos veículos.

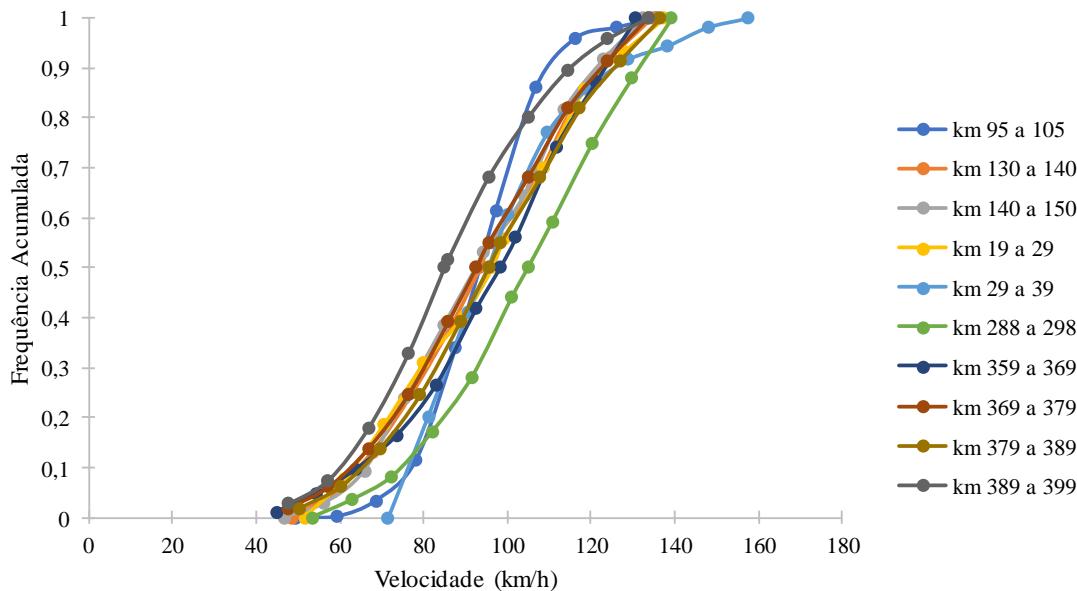
Assim, optou-se por realizar um ajuste a partir da velocidade média no espaço obtida para cada um dos segmentos. O procedimento consistiu em obter, para cada segmento viário, o 50º percentil da distribuição de velocidades pontuais (para veículos fora dos pelotões) e então corrigi-lo em função das médias das velocidades médias no espaço de todas as correntes de tráfego de cada segmento, deslocando a distribuição para a direita. Foram realizadas novas simulações e os resultados obtidos foram considerados mais condizentes com os dados de campo. A Figura 6.2 ilustra as curvas de velocidades desejadas para cada segmento observado em campo.

Figura 6.2: Frequência acumulada de velocidade desejada dos veículos em tangente



Para os subsegmentos com curvas horizontais, a distribuição de velocidades desejadas precisa ser ajustada. No VISSIM, para os subsegmentos com curvas horizontais, foram modeladas novas distribuições de velocidades desejadas, conforme mostradas na Figura 6.3.

Figura 6.3 Frequência acumulada de velocidade desejada dos veículos considerando o efeito de curvas horizontais



## 6.2. Análise de sensibilidade e obtenção em campo dos parâmetros de calibração comportamentais

O modelo de *car-following* do VISSIM – de Wiedemann 1999 (PTV, 2018) – é conhecido como um modelo psicofísico, pois leva em consideração aspectos da percepção dos condutores. A premissa básica do modelo é a de que o motorista de um veículo mais rápido começa a desacelerar quando percebe um veículo mais lento. Como ele não consegue determinar, precisamente, a velocidade do veículo mais lento, a velocidade ficará menor que a do veículo que segue a frente. Então, ele começa a acelerar até alcançar novamente a velocidade do veículo à frente. Assim, enquanto o motorista estiver atrás do veículo mais lento, sua velocidade irá oscilar, alternando aceleração e desaceleração, evitando ficar com uma velocidade constante atrás do veículo à frente. O modelo do VISSIM considera que existem quatro estados para o condutor (PTV, 2018):

- *Free driving*: O condutor consegue trafegar na velocidade desejada sem ser influenciado por nenhum veículo. A velocidade do veículo só varia devido ao controle de aceleração do próprio motorista;

- *Approaching*: O motorista precisa reduzir a velocidade, pois há um veículo adiante e, após essa desaceleração, a velocidade permanece constante;
- *Following*: O motorista segue um veículo sem que haja processo de aceleração ou desaceleração do veículo, mantendo a velocidade constante;
- *Braking*: O condutor precisa frear, pois a distância do veículo da frente é menor que a distância de segurança.

Para a realização das ultrapassagens, é estabelecida uma distância de visibilidade máxima, sendo que, até essa distância, o condutor consegue observar o veículo no sentido oposto e, além dessa distância, assume-se que há um veículo na direção oposta. Determina-se, ainda, uma velocidade dos veículos no sentido oposto ao veículo que deseja realizar a ultrapassagem. Caso o veículo em sentido oposto esteja no limite de visibilidade, é adotada a mesma velocidade do veículo que deseja ultrapassar.

No VISSIM, o veículo deseja ultrapassar quando a velocidade desejada é mais alta que a do veículo que está à frente (por *default*, de 0 a 4 m/s, com média de 2 m/s com distribuição normal). A velocidade de ultrapassagem é a velocidade desejada somada ao “fator de velocidade de ultrapassagem”, que corresponde a um fator de aceleração do veículo que deseja ultrapassar, sendo o padrão igual a 1,30 m/s<sup>2</sup>. O tempo máximo da manobra é de 4 segundos (valor que também pode ser alterado).

Logo após realizar a ultrapassagem, o veículo reduz a velocidade para a velocidade desejada. A manobra só acontece caso haja espaço suficiente após ultrapassar o veículo lento, possibilitando que a ultrapassagem ocorra em segurança. Se, durante a manobra, é observado um veículo em sentido contrário, a manobra será abortada e os veículos que trafegam atrás podem reduzir a velocidade para garantir que o veículo retorne para o pelotão. O veículo trafegando em sentido oposto não é influenciado pela manobra de ultrapassagem. Antes da ultrapassagem ser realizada, o VISSIM não considera mudanças das condições de tráfego na faixa direcional, como redutores de velocidade, mas assim que a manobra é iniciada, o veículo sendo ultrapassado respeita essas sinalizações e as novas condições de tráfego.

O atributo que define a distância para a mudança de faixa e realização ultrapassagem (*lane change distance*) é sempre maior ou igual a distância para frenagem de emergência mais 5 metros. Importante ressaltar que não é possível alterar o comportamento do motorista, tornando-o mais agressivo; entretanto, é possível alterar a distância de segurança, que depende da velocidade do veículo que deseja ultrapassar e da velocidade do veículo que segue a frente.

Para verificar quais parâmetros comportamentais do simulador – como os dos submodelos de *car-following* e de mudança de faixas – são mais relevantes para refletir as condições de tráfego, foi realizada uma análise de sensibilidade. Para isso, foram realizadas simulações com 10 replicações com diferentes sementes de números aleatórios em intervalos de 15 minutos, com 15 minutos de período de *warm-up*, para dois trechos da rodovia em que foram coletados dados com filmagens. As simulações foram realizadas com as mesmas proporções de veículos pesados e leves das correntes de tráfego obtidas em campo.

O trecho entre o km 95 e o km 105, onde foram obtidos dados de tráfego na Semana Santa de 2018, foi modelado no VISSIM de acordo com as características geométricas encontradas em campo. O trecho foi escolhido por apresentar uma maior amplitude de fluxo, apresentando tanto intervalos com baixo fluxo como os maiores fluxos de veículos observados na coleta. Nesse segmento, foram coletadas 26 correntes de tráfego de 15 minutos cada, com fluxo de tráfego variando entre 460 veic/h e 880 veic/h.

No trecho que compreende os kms 288 a 298, os dados de tráfego foram obtidos no feriado da Independência de 2018, e o segmento também foi modelado no VISSIM de acordo com as características geométricas observadas em campo. Nesse segmento, foram coletadas 15 correntes de tráfego de 15 minutos cada, com fluxos de tráfego variando entre 269 veic/h e 486 veic/h.

Após a realização das simulações para as correntes de tráfego observadas nos dois segmentos viários escolhidos, foram analisadas a *ATS* e a *PF* no final dos segmentos, por sentido. Foi possível observar que as simulações, quando foram utilizados os parâmetros *default* do VISSIM, tenderam a produzir resultados diferentes dos observados em campo. Ainda que essas simulações tenham sido modeladas com a distribuição de velocidade desejada e com os modelos de desempenho veicular obtidos em campo, os motoristas apresentaram um comportamento

mais agressivo que o previsto no simulador, demonstrando-se a necessidade de realizar ajustes nos parâmetros comportamentais do simulador para refletir de forma mais fiel o comportamento dos motoristas.

Diante disso, foram analisados os parâmetros de calibração do comportamento dos motoristas disponíveis para ajustes no simulador. O VISSIM os organiza em cinco grupos de parâmetros de calibração: (i) *Following*, em que é possível ajustar o modelo de *car-following* e os modelos de visibilidade; (ii) *Lane Change*, em que estão disponíveis os atributos relacionados à mudanças de faixa, como aceleração e desaceleração dos veículos; (iii) *Lateral*, que relaciona os parâmetros de posicionamento dos veículos em relação a via e outros veículos, bem como as regras para a realização de ultrapassagens; (iv) *Signal Control*, que possibilita o ajuste do comportamento dos motoristas em função de semáforos; e (v) *Meso*, que permite o ajuste para a realização de mesossimulações.

Lacerda (2016) esclarece que, para análises de rodovias de pistas simples, dentre os modelos de *car-following* disponíveis no VISSIM, é recomendável utilizar o modelo Wiedemann 99, pois permite ajustar parâmetros comportamentais relativos a pistas simples que não são possíveis no modelo Widemann 74. Então, para realizar o teste de sensibilidade de modo a verificar quais parâmetros comportamentais são mais relevantes, foi utilizado um método (Lacerda, 2016) que consiste em alterar os parâmetros dos modelos do VISSIM de modo a verificar o impacto nos resultados da simulação.

Neste trabalho, foram escolhidos, como medidas de desempenho, a *ATS* e a *PF*, por sentido. Então, foram calculados Intervalos de Confiança (IC's) das diferenças dos resultados quando cada parâmetro é alterado, em relação aos resultados usando-se os parâmetros *default*. Caso os intervalos contenham o zero ou sejam pequenos, a influência do parâmetro na medida de desempenho é considerada pequena. Caso contrário, significa que o parâmetro é relevante.

Para a realização da análise de sensibilidade, todos os 38 parâmetros comportamentais foram alterados, nas simulações, por duas vezes: usando-se os valores mínimo e máximo de cada parâmetro. Posteriormente, nessas circunstâncias, foram obtidos os resultados de simulação que foram comparados com os resultados obtidos com os parâmetros *default*, calculando-se a média, o desvio padrão e o IC das diferenças absolutas dos resultados das simulações no VISSIM.

Na Tabela 6.1, é possível verificar os IC's obtidos para a análise de sensibilidade dos 38 parâmetros analisados. Desses, cinco parâmetros foram identificados como relevantes para calibração nos dois segmentos escolhidos para análise: (i) *Look Ahead Maximum Distance* (*LookAheadDistMax*); (ii) *Observed Vehicles* (*ObsrvdVehs*); (iii) *Safety distance reduction fator - lane change* (*SafDistFactLnCg*); (iv) *W99cc1Distr*; e (v) *W99cc3*, e estão destacados na mesma tabela (hachurados em azul).

Tabela 6.1: Intervalos de Confiança dos Parâmetros para calibração

Parâmetro	ATS		PF				
	Segmento		Segmento				
	km95 - 105	km 288 - 298	km95 - 105	km 288 - 298			
	IC	IC	IC	IC			
<i>AccDecelOwn</i>	0,0	0,0	0,0	-0,7	-0,1	-0,1	0,1
<i>AccDecelTrail</i>	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0
<i>CoopDecel</i>	0,0	0,0	0,0	-0,6	-0,1	-0,2	0,2
<i>CoopLnChgCollTm</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
<i>CoopLnChgSpeedDiff</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
<i>DecelRedDistOwn</i>	0,1	0,1	0,0	-0,4	-0,1	-0,4	0,0
<i>DecelRedDistTrail</i>	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,2	0,0	0,3
<i>DiffusTm</i>	0,0	0,1	0,0	-0,5	-0,2	-0,1	0,1
<i>FreeDrivTm</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
<i>LatDirChgMinTm</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0
<i>LatDistStandDef</i>	0,3	0,8	0,0	-0,3	0,7	0,0	0,0
<b><i>LatDistDrivDef</i></b>	<b>-2,2</b>	<b>-0,6</b>	<b>0,0</b>	<b>1,6</b>	<b>3,7</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
<i>LookAheadDistMin</i>	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	-0,1	0,1
<b><i>LookAheadDistMax</i></b>	<b>-21,7</b>	<b>-14,5</b>	<b>-19,8</b>	<b>-11,5</b>	<b>-32,3</b>	<b>-21,2</b>	<b>-16,5</b>
<i>LookBackDistMin</i>	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,2	0,0	0,0
<b><i>LookBackDistMax</i></b>	<b>-2,3</b>	<b>-1,0</b>	<b>-0,2</b>	<b>0,0</b>	<b>-4,1</b>	<b>-2</b>	<b>-0,5</b>
<i>MaxDecelOwn</i>	0,0	0,1	-0,1	0,0	-0,5	0,1	-0,6
<i>MaxDecelTrail</i>	0,0	0,1	-0,1	0,0	-0,3	0,1	-0,2
<i>MinCollTmGain</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,4	0,1	0,0
<i>MinHdwy</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,2
<i>MinSpeedForLat</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0
<b><i>ObsrvdVehs</i></b>	<b>-2,0</b>	<b>-0,9</b>	<b>-3,2</b>	<b>-1,5</b>	<b>5,1</b>	<b>8,9</b>	<b>2,2</b>
<i>RearCorrEnd</i>	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0
<i>RearCorrMaxSpeed</i>	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0
<i>RearCorrStart</i>	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0
<b><i>SafDistFactLnChg</i></b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,5</b>	<b>-0,4</b>	<b>-0,2</b>	<b>-30,2</b>	<b>-17</b>	<b>0,2</b>
<i>SleepDur</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>SleepProb</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>StandDist</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>W99cc0</i>	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,3	0,3	-0,4
<b><i>W99cc1Distr</i></b>	<b>-23,7</b>	<b>-15,9</b>	<b>-22,4</b>	<b>-13,3</b>	<b>-30,3</b>	<b>-18,5</b>	<b>-20,2</b>
<b><i>W99cc2</i></b>	<b>-0,2</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,1</b>	<b>0,0</b>	<b>-3,1</b>	<b>-1,7</b>	<b>-0,4</b>
<b><i>W99cc3</i></b>	<b>-0,2</b>	<b>-0,1</b>	<b>0,9</b>	<b>1,8</b>	<b>-1,2</b>	<b>-0,5</b>	<b>-1,6</b>
<i>W99cc4</i>	-0,2	-0,1	-0,1	0,0	-0,5	0,3	-0,3
<i>W99cc6</i>	-0,1	0,0	-0,1	0,1	-0,8	-0,1	-0,4
<i>W99cc7</i>	-0,1	0,0	0,0	0,1	-0,5	0,0	-0,4
<i>W99cc8</i>	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,4	0,0	0,2
<i>W99cc9</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,2	0,0

Além disso, foi observado que outros três parâmetros apresentaram IC's sem o zero, para PF e ATS, somente para os dados do km 95 ao km 105, que são: (i) *Lateral Minimum Distance at 50*

*km/h (LatDistDrivDef)*, que é o valor para a distância mínima entre veículos que é mantida dos veículos na faixa adjacente pelos veículos que ultrapassam na mesma faixa a 50 km/h; (ii) *Look back distance maximum (LookBackDistMax)*, é a distância máxima que um condutor pode ver para trás para reagir a veículos que trafegam atrás dele; e (iii) *W99cc2*, que é um parâmetro do modelo de *car-following* de Wiedemann 99 que restringe a diferença longitudinal, determinando quão distante um condutor admite ficar do veículo a frente em uma eventual aproximação (PTV, 2018).

Tomou-se a decisão de calibrar esses três parâmetros somente se fosse possível com os dados obtidos diretamente de campo. A Tabela 6.1 demonstra os resultados da análise de sensibilidade para esses parâmetros (hachurados em cinza). Devido às características desses parâmetros, não foi possível, nesta pesquisa, a obtenção dos dados de campo necessários para ajustar o comportamento dos motoristas para os parâmetros *Look back distance maximum* e *W99cc2*, pois seria necessário observar a condução de cada condutor em diferentes situações de tráfego. No entanto, para o *LatDistDrivDef*, foi possível obtê-lo em campo, sendo considerado o sexto parâmetro de calibração relevante.

#### 6.2.1. *Lateral Minimum Distance at 50 km/h - LatDistDrivDef*

De acordo com o Manual do VISSIM (PTV, 2018), o *LatDistDrivDef*, ou *Lateral Minimum Distance at 50 km/h*, é a distância mínima entre veículos, em relação à faixa adjacente, mantida pelos veículos que ultrapassam pela faixa do sentido oposto, a 50 km/h, sendo que o valor *default* desse parâmetro é de 1,0 m. Quando as velocidades de ultrapassagem são diferentes, os valores correspondentes à velocidade são obtidos por meio de interpolação linear. Então, para calibrar esse parâmetro, foi observado o comportamento dos veículos quando realizavam as ultrapassagens, captando-se a distância lateral e a velocidade em que os veículos realizavam as manobras.

Todas as manobras de ultrapassagens que foram registradas com o uso do Drone foram separadas e tratadas para a redução das distorções em decorrência do posicionamento da câmera em relação ao eixo da rodovia. A Figura 6.4 demonstra uma das imagens de um dos vídeos obtidos com o drone após o tratamento realizado utilizando o método de Cunha (2013) e que foi utilizada para obtenção da distância lateral dos veículos.

Figura 6.4: Vídeo retificado para obtenção dos dados de tráfego



Como os veículos observados trafegavam em velocidades superiores a 50 km/h, foi necessário ajustar a curva adotada pelo VISSIM. O manual do VISSIM (PTV, 2018) esclarece que os dados são interpolados entre 0 e 50 km/h para se ter a distância lateral entre essas velocidades e que a 0 km /h a distância lateral é de 0,2 m. Assim, das observações das ultrapassagens com os vídeos obtidos com drone, foi calculada a distância lateral a 50 km/h, usando-se a seguinte formulação:

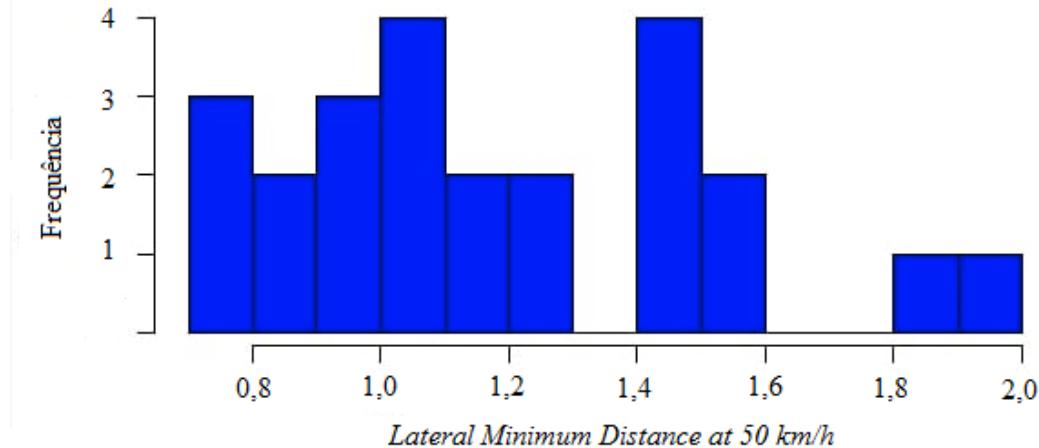
$$LD_{50} = \left( \frac{50 \cdot LD_{campo}}{v_{campo}} \right) + 0,2 , \quad (6.1)$$

em que  $LD_{50}$  é a distância lateral ajustada para uma velocidade de 50 km/h;  $v_{campo}$  é a velocidade dos veículos durante a realização das manobras de ultrapassagens observadas; e  $LD_{campo}$  é a distância lateral nas manobras de ultrapassagens observadas em campo, a um dada velocidade  $v_{campo}$ .

Foram coletadas informações de 31 manobras de ultrapassagens e calculada a  $LD_{50}$  correspondente para cada manobra. Então, foi observado que a distribuição das amostras obtidas é melhor representada pela mediana, devido a distribuição ser assimétrica (Triola, 2000),

conforme fica demonstrado na Figura 6.5. Assim, o valor  $LD_{50}$  adotado é o de 1,12 m para a distância lateral a 50 km/h.

Figura 6.5: Histograma dos resultados do parâmetro *lateral minimum distance at 50 km/h*



#### 6.2.2. Safety distance reduction factor (lane change) - *SafDistFactLnChg*

O *SafDistFactLnChg* é um fator de redução da distância de segurança desejada para a realização das mudanças de faixa que é o produto da distância de segurança desejada pelo fator de redução da distância de segurança. O fator pode ser definido como a razão da distância final de aproximação do veículo que realizar a ultrapassagem pela distância mantida pelos veículos em *following*, mas que não desejam realizar ultrapassagens.

Para calibrar esse parâmetro, foram obtidas, das filmagens com drone, as distâncias que os veículos mantiveram quando atrás de outros veículos e foram observadas as distâncias dos veículos que iniciam as ultrapassagens no limite do início da manobra. Os dados observados indicaram uma distância média de 2,76 m e uma mediana de 2,35 quando os veículos estão em *following*. Quando no limite da aproximação para realizar a manobra de ultrapassagem, a média foi de 1,1 m e a mediana de 0,9 m.

Assim, de posse dos dados de distância de segurança desejada e da redução para realização das manobras, foi possível calcular o fator para os veículos observados em campo. O valor *default* é de 0,6, enquanto para os veículos observados foi de 0,36.

### **6.3. Calibração dos parâmetros com Algoritmo Genético**

Nesta seção, são abordados os aspectos relacionados com o desenvolvimento de um AG para calibrar os demais comportamentais do VISSIM considerados relevantes para modelagem de rodovias de pista simples: *LookAheadDistMax*, *ObsrvdVehs*, *W99cc1Distr* e *W99cc3*.

O AG é um método iterativo baseado na teoria da evolução que se inicia com a produção de uma população aleatória, gerada a partir de um espaço de busca. Essa população é composta por indivíduos (ou cromossomos) que são formados a partir dos parâmetros comportamentais a serem calibrados. À medida que a população evolui, através da aplicação de operadores genéticos (seleção, *crossover*, mutação e predação), melhores soluções (os indivíduos da população) são encontradas, na tentativa de melhorar a função de adaptação (*fitness*), resultado da comparação entre medidas de desempenho encontradas em campo e obtidas por simulação. Portanto, os indivíduos mais bem adaptados (com melhores valores de *fitness*) tendem a permanecer na população e, assim, transferem as suas características às próximas gerações; enquanto isso, os menos adaptados tendem a desaparecer (Goldberg, 1989; Bessa Jr. e Setti, 2011).

A calibração de parâmetros de calibração é considerada um problema de busca e otimização e, portanto, pode ser aplicado um AG para fazer isso. Na literatura, é possível observar o uso de AG's na calibração de vários simuladores, como AIMSUN (Chiappone, *et al.*, 2016), VISSIM (Yu e Fan, 2017), TWOPAS (Moreno *et al.*, 2016), Paramics (Ma e Abdulhai, 2002) e CORSIM (Kim a Rilett, 2003). No Brasil, é possível encontrar aplicações para rodovias de pista dupla e autoestradas (Cunha e Setti, 2011), para rodovias de pista simples (Bessa Jr. *et al.*, 2017; Bessa Jr. e Setti, 2018) e em meio urbano (Medeiros *et al.*, 2013; Lacerda e Castro-Neto, 2014).

No entanto, alguns trabalhos (Lacerda, 2016; Lacerda e Castro-Neto, 2018) têm apontado que, se um processo de calibração não for bem delineado, parâmetros comportamentais dos simuladores de tráfego podem ter valores de calibração inadequados (agressivos demais, por exemplo). Sendo assim, outros parâmetros calibrados também podem ser inadequados, mas em outro sentido (muito conservadores, por exemplo), na tentativa de compensar os erros atribuídos

aos primeiros parâmetros. A aplicação tradicional dos AG's para calibrar simuladores de tráfego na obtenção dos parâmetros comportamentais são susceptíveis a esse tipo de erro.

O AG aplicado nesta pesquisa é baseado em outro aplicado em estudos anteriores (Bessa Jr. et al., 2017; Bessa Jr. e Setti, 2018), conforme mostrado no fluxograma da Figura 4.11. O processo inicia-se com a criação da população inicial de 10 indivíduos, baseado no intervalo de busca dos parâmetros de calibração que os compõe, com cada um deles associado a um determinado nível de agressividade: baixo, médio e alto. A Tabela 6.6 mostra os valores *default* dos parâmetros de calibração e seus intervalos de busca com base na agressividade.

Figura 6.6: Fluxograma de aplicação do AG (adaptado de Bessa Jr. e Setti, 2018)

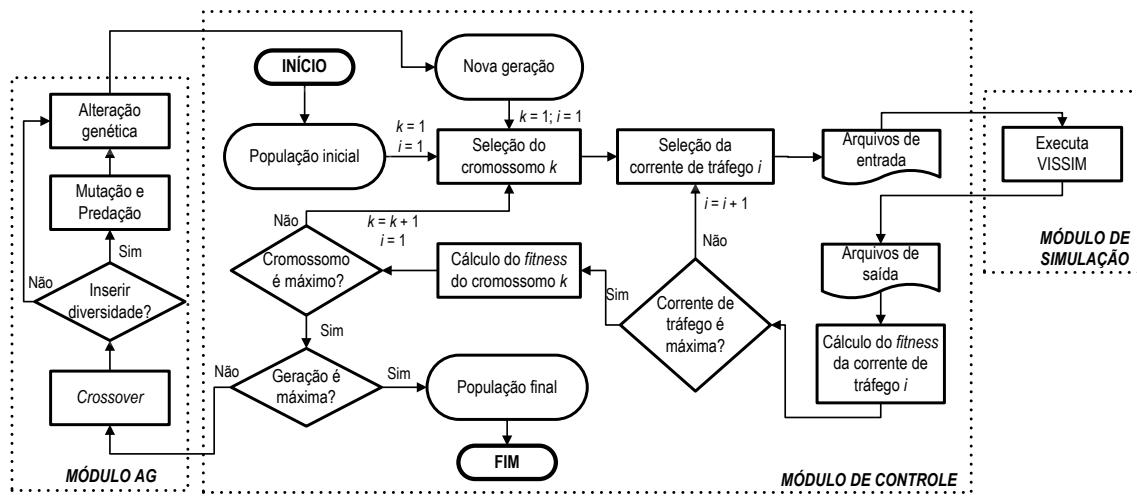


Tabela 6.2: Valores *default* dos parâmetros de calibração

Parâmetro	Valor <i>default</i>	Espaço de busca em função do nível de agressividade					
		Baixo		Médio		Alto	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
<i>LookAheadDistMa</i> <i>x</i>	250 m	0	167	167	333	333	500
<i>ObsrvdVehs</i>	2 veíc	0	3	3	7	7	10
<i>W99cc1Distr</i>	1	20	30	2	20	1	2
<i>W99cc3</i>	-8,0 s	-16	-10,7	-10,7	-5,3	-5,3	0

Há uma peculiaridade com o *W99cc1Distr*, em que os valores do parâmetro são estabelecidos a partir de um *menu* previamente estabelecido, que é correspondente ao *headway* médio, em segundos, que os motoristas irão adotar. Então, no espaço de busca com nível de agressividade baixo, os valores possíveis para o parâmetro são 20 ou 30 (número que representam o *headway* médio). No nível de agressividade médio, são 3 valores, 2, 3 ou 20. No nível alto, os valores possíveis são 1 ou 2.

Cada cromossomo representa um conjunto de parâmetros de calibração que são inseridos nos arquivos de entrada de metade das correntes de tráfego de 15 minutos obtidas por filmagens. A outra metade foi usada para realizar a validação do AG e, também, para validar os modelos de tráfego obtidos. O grau de adaptação (qualidade) de cada indivíduo da população é determinado por meio de uma função objetivo (*fitness*) escolhida, o somatório dos erros quadráticos (*SE*), que tem, como principal vantagem, penalizar àquelas soluções que produzem grandes erros absolutos. A formulação de *SE* é dada por:

$$SE = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^2 \sum_{w=1}^2 (y_{ijkw} - x_{ijkw})^2, \quad (6.2)$$

em que  $y_{ijkw}$  é a velocidade média de viagem obtida na simulação, para o trecho filmado  $i$ , corrente de tráfego  $j$ , sentido de tráfego  $k$  (leste ou oeste) e tipo de veículo  $w$  (automóvel ou veículo pesado);  $x_{ijkw}$  é a velocidade média de viagem obtida em campo, para o trecho filmado  $i$ , corrente de tráfego  $j$ , sentido de tráfego  $k$  e tipo de veículo  $w$ ; a variável  $n$  representa a metade dos trechos filmados; e  $m$  significa o total de correntes de tráfego de 15 minutos do trecho  $i$ .

Se a máxima geração (30) não tiver sido atingida, os operadores genéticos são acionados para produzir uma nova geração da população. O tipo de seleção de dois indivíduos (pais) para realização de cruzamento (*crossover*) é baseado na técnica da roleta (Goldberg, 1989), em que a probabilidade de serem selecionados é função do seu grau de adaptação ao meio (*fitness*). Portanto, quanto menor for o *SE* do indivíduo, mais chance ele tem de ser selecionado para realização de cruzamento. O novo cromossomo de um indivíduo da geração seguinte possui genes (parâmetros de calibração) que são resultados da média aritmética dos genes dos seus pais.

A mutação é a seleção aleatória de genes (parâmetros) da população de modo que eles são substituídos por outros gerados aleatoriamente em função do seu respectivo espaço de busca. A predação significa selecionar os piores indivíduos da população (maiores valores de *SE*) e substituí-los por outros gerados aleatoriamente, também em função do espaço de busca dos parâmetros de calibração. A mutação e a predação, que possuem, respectivamente, taxas de 30% e 20%, são aplicadas a cada duas gerações, de modo que a diversidade genética inserida possa ser absorvida paulatinamente.

Com a aplicação do *crossover*, é possível que alguns genes dos indivíduos de uma nova geração da população tenham agressividades diferentes daquelas definidas no início do processo de calibração (baixo, médio ou alto). Nesses casos, cada gene deverá ser substituído por um outro produzido aleatoriamente com base no espaço de busca, de acordo com seu nível de agressividade. A esse processo foi denominado “alteração genética” (Baluja, 1994; Bean, 1994).

A proposta desta pesquisa, em relação àquela em que foi baseada (Bessa Jr. *et al.*, 2017; Bessa Jr. e Setti, 2018), tiveram duas principais alterações. A primeira é que o *crossover* passou a ser do tipo “média” com seleção a partir do “método da roleta” – ao invés de ser baseado em “máscara aleatória” e na seleção por elitismo (ver mais detalhes em Bessa Jr., 2015). Outra alteração é a inclusão da “alteração genética” como um novo operador do AG.

Usando-se os valores *default* dos parâmetros de calibração (Tabela 6.2), foi encontrado um valor de *SE* igual a 10.603. Com a aplicação da melhor solução encontrada com o AG (Tabela 6.3), obteve-se um valor de *SE* de 9.528, que é 10% menor do que quando usado os valores *default* dos parâmetros. Foi realizado um processo de validação ao testar a melhor solução encontrada

na etapa de calibração. Nesse caso, o valor de *SE* encontrado foi de 15.001, valor que é 4% menor que o encontrado a partir dos parâmetros *default*, que foi igual a 15.635.

Tabela 6.3: Melhor conjunto de parâmetros encontrados pelo AG

Parâmetro	Valor obtido pelo AG
<i>LookAheadDistMax</i>	419 m
<i>ObsrvdVehs</i>	7 veículos
<i>W99cc1Distr</i>	1
<i>W99cc3</i>	-2,6 s

A aplicação do AG apresentou apenas uma leve melhora em relação à utilização dos parâmetros *default*. Isso pode ser justificado em função da quantidade pequena de parâmetros a serem calibrados. Além disso, o processo de ajuste dos parâmetros já havia sido iniciado, com a calibração das curvas de velocidades desejadas, com a calibração dos modelos de desempenho dos veículos pesados e com a obtenção de dois parâmetros em campo a partir de filmagens com Drone – *LatDistDrivDef* e *SafDistFactLnChg*. Com relação aos resultados dos parâmetros calibrados pelo AG, todos os valores foram considerados mais agressivos dos que os valores *default* do VISSIM. A exceção ficou por conta do *W99cc1Distr*, que permaneceu com o mesmo valor *default* do VISSIM.

## 7. RELAÇÕES FUNDAMENTAIS DE TRÁFEGO

Aqui, entende-se como relações fundamentais de tráfego aquela que correlaciona fluxo de tráfego com alguma medida de desempenho. Neste capítulo, essas relações de tráfego, também chamados de modelos de tráfego, são tratadas (sem faixas adicionais e sem zonas de ultrapassagens proibidas, que são objetos de análise do capítulo seguinte).

Conforme discutido na revisão da literatura, autores como Moreno *et al.* (2014), Bessa Jr. (2015) e Washburn *et al.* (2018) têm indicado a densidade de veículos em pelotões ( $FD$ ) como medida de desempenho que pode ser usada no cálculo do nível de serviço e da capacidade de rodovias de pista simples. Além disso, o HCM 6 utilizará essa medida de desempenho no novo método voltado para esse tipo de rodovia (Washburn *et al.*, 2018). Assim, entende-se que é pertinente utilizar  $FD$  para elaborar os modelos de tráfego desta pesquisa, cuja formulação é:

$$FD = \frac{PF}{100} \cdot \frac{q}{ATS}, \quad (7.1)$$

em que,  $PF$  é a porcentagem de veículos em pelotões;  $q$  é o fluxo de tráfego (veic/h); e  $ATS$  é a velocidade média de viagem (km/h).

Nesta seção, são apresentados os resultados dos modelos propostos para análise dos segmentos com faixa adicional de subida e com zonas de ultrapassagens proibidas. Além desses modelos, também são necessários obter modelos de tráfego para condições sem faixas adicionais e sem zonas de ultrapassagens proibidas. O capítulo apresenta também a proposta de classificação dos trechos, com base no alinhamento vertical. Ao final do capítulo, também são comparados os resultados obtidos em campo com o modelo proposto e com outros modelos encontrados na literatura, como o de Bessa Jr. (2015) e manuais do HCM (TRB, 2010; Washburn *et al.*, 2018).

No manual alemão HBS 2001, para a estimativa do nível de serviço, o efeito da declividade e do comprimento de rampas é representado por uma variável aqui chamada “classe da rampa” (COG), definida por meio do impacto na velocidade de um “veículo pesado de projeto” nessas rampas. De forma semelhante à metodologia utilizada no HBS 2001, os alinhamentos vertical e horizontal são organizados em cinco classificações na possível nova proposta de análise de rodovias de pista simples do HCM 2016 (Washburn *et al.*, 2018). Essas classificações são

baseadas na redução da velocidade de fluxo livre (*FFS*) de um veículo pesado típico devido a mudança no alinhamento. Na Tabela 7.1, são apresentadas as reduções da *FFS* usadas para definir a classificação do alinhamento vertical.

Tabela 7.1: Reduções na *FFS* de veículos pesados usadas para classificar alinhamentos verticais

Classificação	Redução na <i>FFS</i> do veículo pesado (km/h)
1	< 7
2	$\geq 7 - 14$
3	$\geq 14 - 21$
4	$\geq 21 - 28$
5	$\geq 28$

O veículo pesado típico escolhido para esta pesquisa, a fim de obter a classificação das rampas em função do alinhamento vertical, tem relação massa potência de 175 kg/kW, que representa, aproximadamente, o 85º percentil da distribuição de relações massa-potência da amostra de caminhões obtida em campo (Capítulo 4). A velocidade inicial de 105 km/h é a mesma escolhida nos experimentos para o HCM 6 (Washburn *et al.*, 2018). Assim, com o uso do VISSIM, estimou-se as reduções no *FFS* para o veículo pesado de projeto. Os modelos de simulação foram elaborados com um trecho em tangente e plano para que possibilitasse ao veículo pesado de projeto alcançar a velocidade desejada média (aqui considerada como *FFS*) de 105 km/h (com desvio padrão dessa velocidade desejada igual a zero). Então, foram realizadas alterações na geometria do segmento seguinte, com rampas ascendentes e descendentes. Foi observada a redução de velocidade para cada caso e elaborada a Tabela 7.2, com base na Tabela 7.1, para a classificação do alinhamento vertical.

Tabela 7.2: Classificação do alinhamento vertical

Comprimento do segmento (m)	Rampa (%)																	
	1	-1	2	-2	3	-3	4	-4	5	-5	6	-6	7	-7	8	-8	9	-9
	Classe da rampa (COG)																	
$\leq 200$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
$\geq 200 < 400$	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	3	2	3	3	4	3	4	4
$\geq 400 < 600$	1	1	2	2	2	2	3	3	4	4	4	4	5	5	5	4	5	5
$\geq 600 < 800$	1	1	2	2	3	2	4	4	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5
$\geq 800 < 1000$	2	2	3	3	4	3	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5
$\geq 1000 < 1200$	2	2	3	3	4	3	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5
$\geq 1200 < 1400$	2	2	3	3	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5
$\geq 1400 < 2400$	3	3	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
$\geq 2400$	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

A Tabela 7.2, com os valores de COG do alinhamento vertical, orientou a elaboração de trechos hipotéticos de simulação para gerar modelos que correlacionem fluxo de tráfego e *FD* unidirecionais. Foram gerados 10 segmentos viários hipotéticos de 10 km para cada categoria de COG's, alternando-se segmentos de subida e de descida, com a inclinação e o comprimento dos modelos definidos aleatoriamente de acordo com a Tabela 7.2. Os trechos hipotéticos foram usados para gerar modelos: (i) sem faixas adicionais e sem proibição de ultrapassagens (aqui denominados de “modelos base”); (ii) com faixas adicionais; e (iii) com zonas de ultrapassagens proibidas. Esta seção refere-se à primeira categoria de modelos de tráfego. Na Tabela 7.3, é possível verificar exemplos de trechos hipotéticos, com comprimento e rampa dos subtrechos, para cada COG. Os demais 9 trechos para cada COG são apresentados no Apêndice B.

Tabela 7.3: Modelos de geometria hipotética para geração de dados sintéticos

COG 1		COG 2		COG 3		COG 4		COG 5	
Rampa (%)	Extensão (m)								
1	467	1	429	2	1295	4	458	9	847
-4	57	-1	1058	-6	223	-5	690	-9	1389
1	742	9	95	2	1015	5	485	9	670
-2	238	-1	1105	-1	1195	-4	536	-7	1451
1	689	3	551	7	324	6	401	9	482
-1	723	-8	93	-6	339	-8	329	-9	1123
1	691	4	304	1	933	3	993	7	581
0	244	-8	67	-2	1311	-4	1121	-7	1020
1	771	2	228	2	787	3	666	9	519
0	596	-1	1284	-6	400	-2	1247	-7	1918
1	627	0	1044	5	343	4	668		
0	572	-1	1386	-1	1529	-9	264		
1	540	8	134	6	306	8	276		
0	572	-2	492			-3	1011		
1	468	0	1123			3	855		
-1	772	2	607						
Total (m)	10.000								

Importante ressaltar que a  $FD$  de um segmento deverá ser calculada em função da média ponderada dos  $FDS$  dos subsegmentos, com o peso sendo o comprimento do trecho, a exemplo de como ocorre no HCM 6, conforme a equação:

$$FD_d = \frac{\sum_{i=1}^n FD_i \cdot C_i}{\sum_{i=1}^n C_i}, \quad (7.2)$$

em que  $FD_d$  é a densidade de veículos em pelotões direcional do segmento de análise e  $n$  é o número de subsegmentos.

A velocidade de fluxo livre direcional ( $FFS_d$ ) foi simulada de 70 a 110 km/h, variando-se de 10 em 10 km/h. Para inserir a informação no VISSIM, foram geradas distribuições acumuladas hipotéticas para a velocidade desejada a partir da distribuição das velocidades desejadas médias dos veículos foram dos pelotões encontrados em campo, para os trechos em que foram realizadas as filmagens. Então, mantendo-se o coeficiente de variação dessa distribuição acumulada, foram

estabelecidas as distribuições de velocidade desejada no VISSIM para 70 km/h, 80 km/h, 90 km/h, 100 km/h e 110 km/h (valores que são considerados os 50º percentis de cada distribuição).

Para as porcentagens de veículos pesados ( $P_{hv}$ ), foram considerados de 0% a 50% da corrente de tráfego, variando-se de 10% em 10%. As categorias de veículos pesados (leves, médios, pesados e extrapesados) foram as mesmas obtidas do campo e detalhadas no Capítulo 4. Considerando as cinco categorias de alinhamento vertical, foram realizadas, portanto,  $5 \times 6 \times 5 = 150$  relações fluxo- $FD$  unidirecionais. Para produzir cada um desses modelos, foram simuladas 100 correntes de tráfego, o que resultou em  $100 \times 150 = 15.000$  simulações no total.

Como o HCM 6 (Washburn *et al.*, 2018) e o modelo proposto por Bessa Jr. (2015) adotam a análise unidirecional, nesta pesquisa se optou por manter essa lógica. Foram testados dois modelos entre o fluxo e  $FD$  direcionais (sem faixas adicionais e sem proibição de ultrapassagens), um quadrático e um linear:

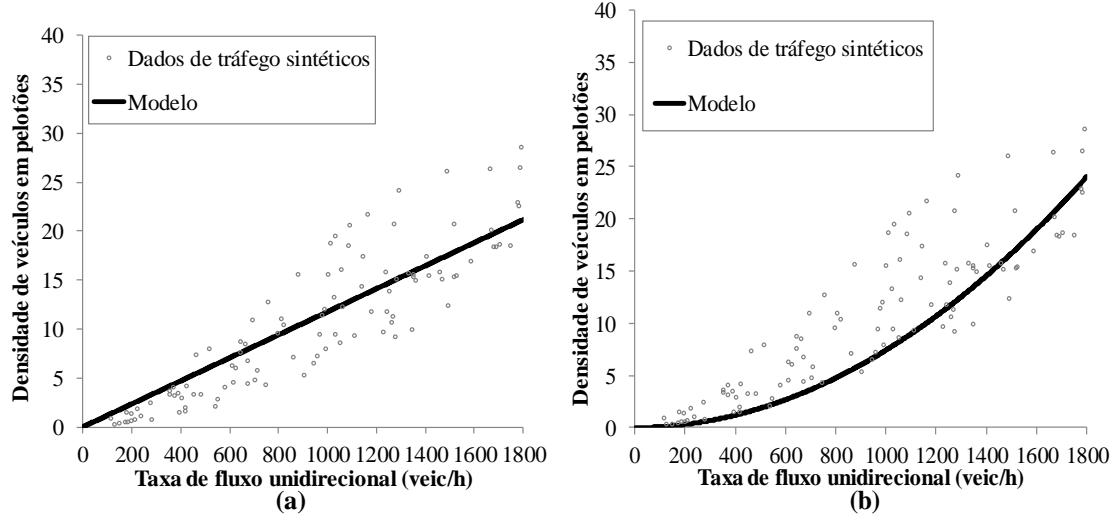
$$FD_d = a \cdot q_d^2, \quad (7.3)$$

$$FD_d = a \cdot q_d, \quad (7.4)$$

em que  $FD_d$  é a densidade de veículos em pelotões em veic/km,  $a$  é o parâmetro de calibração do modelo, e  $q_d$  é o fluxo direcional em veic/h.

A Figura 7.1 apresenta os resultados obtidos com os dados sintéticos para COG = 1,  $P_{hv} = 0\%$ ,  $FFS = 70$  km/h, cujo  $R^2$  foi de 0,9291 para o modelo linear e  $R^2$  de 0,92708 para o modelo quadrático, entre fluxo e  $FD$  direcional. Nas Tabelas 7.4 e 7.5, é possível verificar os parâmetros encontrados para os modelos linear e quadrático, respectivamente. Os valores intermediários de  $a$  para valores de  $P_{hv}$  e  $FFS_d$  diferentes dos apresentados nas Tabelas 7.6 e 7.7 devem ser obtidos por meio de interpolação linear.

Figura 7.1: Relação fluxo- $FD_d$  obtidas para para COG = 1,  $P_{hv}$  = 0%, FFS = 70 km/h dos modelos linear (a) e quadrático (b)



A partir do Modelo Base da  $FD_d$ , partiu-se para a avaliação das faixas adicionais de subida e das zonas de ultrapassagem proibidas. Deve-se, portanto, ajustar o modelo básico para  $FD_d$  em função do impacto dessas duas variáveis. Então, o modelo passa a ser definido como segue na Equação 7.5, tanto para o modelo linear como para o modelo quadrático. As próximas seções detalham os resultados obtidos com a obtenção desses fatores de ajuste.

$$FD_d = a \cdot q_d - f_{fa} + f_{npz}, \quad (7.5)$$

em que  $f_{fa}$  é o fator de ajuste para as faixas adicionais de subida;  $f_{npz}$  é o fator de ajuste para o percentual de zonas ultrapassagens proibidas.

Tabela 7.4: Parâmetros do Modelo Base de  $FD_d$  linear

FFS (km/h)	$P_{hv} = 0\%$									
	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>
70	0,0118	0,9291	0,0105	0,9537	0,0116	0,9586	0,0183	0,9578	0,0188	0,9660
80	0,0111	0,9284	0,0098	0,9630	0,0107	0,9665	0,0172	0,9569	0,0176	0,9671
90	0,0106	0,9288	0,0094	0,9643	0,0102	0,9681	0,0164	0,9582	0,0166	0,9665
100	0,0100	0,9288	0,0090	0,9654	0,0097	0,9662	0,0156	0,9604	0,0159	0,9664
110	0,0098	0,9294	0,0088	0,9664	0,0094	0,9652	0,0150	0,9593	0,0153	0,9652
$P_{hv} = 10\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>
	70	0,0128	0,9519	0,0108	0,9757	0,0121	0,9721	0,0182	0,9642	0,0180
80	0,0123	0,9543	0,0104	0,9761	0,0116	0,9784	0,0174	0,9681	0,0172	0,9724
90	0,0117	0,9541	0,0100	0,9770	0,0111	0,9763	0,0169	0,9665	0,0170	0,9722
100	0,0112	0,9492	0,0095	0,9750	0,0106	0,9747	0,0162	0,9714	0,0164	0,9724
110	0,0112	0,9539	0,0095	0,9761	0,0106	0,9766	0,0160	0,9743	0,0159	0,9708
$P_{hv} = 20\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>
	70	0,0129	0,9602	0,0111	0,9794	0,0125	0,9715	0,0183	0,9838	0,0184
80	0,0123	0,9618	0,0106	0,9834	0,0117	0,9842	0,0179	0,9866	0,0181	0,9882
90	0,0121	0,9635	0,0105	0,9825	0,0115	0,9824	0,0175	0,9848	0,0175	0,9858
100	0,0116	0,9600	0,0100	0,9826	0,0110	0,9818	0,0166	0,9843	0,0169	0,9849
110	0,0114	0,9602	0,0098	0,9833	0,0108	0,9834	0,0161	0,9845	0,0163	0,9835
$P_{hv} = 30\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>
	70	0,0134	0,9644	0,0113	0,9696	0,0124	0,9888	0,0173	0,9662	0,0172
80	0,0128	0,9653	0,0108	0,9790	0,0120	0,9903	0,0173	0,9884	0,0168	0,9850
90	0,0126	0,9669	0,0107	0,9796	0,0119	0,9902	0,0170	0,9881	0,0164	0,9837
100	0,0123	0,9656	0,0103	0,9790	0,0115	0,9892	0,0163	0,9858	0,0161	0,9838
110	0,0119	0,9652	0,0100	0,9772	0,0112	0,9896	0,0159	0,9852	0,0157	0,9821
$P_{hv} = 40\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>
	70	0,0126	0,9613	0,0112	0,9802	0,0121	0,9818	0,0168	0,9707	0,0157
80	0,0121	0,9618	0,0107	0,9827	0,0116	0,9847	0,0168	0,9876	0,0155	0,9855
90	0,0118	0,9629	0,0105	0,9821	0,0113	0,9845	0,0166	0,9912	0,0153	0,9875
100	0,0116	0,9641	0,0102	0,9822	0,0111	0,9852	0,0161	0,9893	0,0150	0,9865
110	0,0113	0,9647	0,0100	0,9815	0,0108	0,9842	0,0157	0,9869	0,0145	0,9842
$P_{hv} = 50\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>
	70	0,0124	0,9605	0,0109	0,9753	0,0120	0,9836	0,0150	0,9582	0,0142
80	0,0124	0,9617	0,0105	0,9831	0,0116	0,9905	0,0149	0,9646	0,0142	0,9911
90	0,0122	0,9646	0,0104	0,9821	0,0114	0,9910	0,0149	0,9696	0,0141	0,9922
100	0,0119	0,9634	0,0101	0,9810	0,0111	0,9903	0,0145	0,9717	0,0138	0,9908
110	0,0116	0,9635	0,0099	0,9808	0,0109	0,9895	0,0140	0,9677	0,0133	0,9894

Tabela 7.5: Parâmetros do Modelo Base de  $FD_d$  quadrático

FFS (km/h)	$P_{hv} = 0\%$									
	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>
70	0,0000074	0,9271	0,0000063	0,9460	0,0000069	0,9613	0,0000116	0,9886	0,0000117	0,9871
80	0,0000071	0,9288	0,0000060	0,9648	0,0000065	0,9746	0,0000109	0,9895	0,0000109	0,9884
90	0,0000068	0,9336	0,0000058	0,9678	0,0000063	0,9780	0,0000104	0,9889	0,0000104	0,9884
100	0,0000065	0,9382	0,0000057	0,9722	0,0000060	0,9817	0,0000100	0,9900	0,0000099	0,9884
110	0,0000064	0,9410	0,0000056	0,9737	0,0000059	0,9820	0,0000096	0,9891	0,0000096	0,9880
$P_{hv} = 10\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>
	70	0,0000082	0,9440	0,0000069	0,9709	0,0000077	0,9755	0,0000114	0,9757	0,0000115
80	0,0000079	0,9462	0,0000067	0,9711	0,0000074	0,9808	0,0000109	0,9757	0,0000110	0,9845
90	0,0000077	0,9487	0,0000066	0,9740	0,0000073	0,9825	0,0000108	0,9780	0,0000110	0,9855
100	0,0000073	0,9506	0,0000063	0,9780	0,0000070	0,9857	0,0000103	0,9813	0,0000106	0,9853
110	0,0000073	0,9510	0,0000063	0,9755	0,0000070	0,9830	0,0000102	0,9770	0,0000104	0,9865
$P_{hv} = 20\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>
	70	0,0000083	0,9392	0,0000070	0,9549	0,0000078	0,9522	0,0000112	0,9738	0,0000115
80	0,0000080	0,9384	0,0000067	0,9615	0,0000074	0,9597	0,0000110	0,9742	0,0000113	0,9753
90	0,0000080	0,9416	0,0000067	0,9605	0,0000074	0,9606	0,0000109	0,9741	0,0000111	0,9769
100	0,0000078	0,9474	0,0000065	0,9680	0,0000071	0,9662	0,0000103	0,9770	0,0000107	0,9776
110	0,0000077	0,9461	0,0000064	0,9647	0,0000071	0,9653	0,0000100	0,9757	0,0000103	0,9781
$P_{hv} = 30\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>
	70	0,0000082	0,9429	0,0000075	0,9499	0,0000073	0,9683	0,0000101	0,9425	0,0000114
80	0,0000079	0,9429	0,0000072	0,9595	0,0000072	0,9703	0,0000101	0,9724	0,0000111	0,9708
90	0,0000079	0,9448	0,0000072	0,9606	0,0000072	0,9695	0,0000100	0,9717	0,0000110	0,9731
100	0,0000077	0,9485	0,0000070	0,9633	0,0000070	0,9731	0,0000096	0,9733	0,0000107	0,9707
110	0,0000075	0,9505	0,0000068	0,9641	0,0000068	0,9746	0,0000095	0,9757	0,0000105	0,9732
$P_{hv} = 40\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>
	70	0,0000082	0,9180	0,0000073	0,9665	0,0000078	0,9523	0,0000101	0,9426	0,0000102
80	0,0000079	0,9174	0,0000070	0,9662	0,0000074	0,9504	0,0000100	0,9672	0,0000101	0,9646
90	0,0000077	0,9213	0,0000069	0,9687	0,0000074	0,9550	0,0000101	0,9670	0,0000100	0,9625
100	0,0000076	0,9252	0,0000068	0,9680	0,0000073	0,9576	0,0000097	0,9670	0,0000099	0,9623
110	0,0000075	0,9279	0,0000067	0,9694	0,0000071	0,9572	0,0000096	0,9687	0,0000096	0,9633
$\text{Phv} = 50\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>	a	R <sup>2</sup>
	70	0,0000080	0,9507	0,0000069	0,9430	0,0000074	0,9513	0,0000088	0,9266	0,0000089
80	0,0000077	0,9524	0,0000067	0,9499	0,0000072	0,9565	0,0000088	0,9304	0,0000090	0,9601
90	0,0000077	0,9524	0,0000066	0,9496	0,0000072	0,9576	0,0000089	0,9351	0,0000090	0,9600
100	0,0000075	0,9550	0,0000065	0,9515	0,0000071	0,9603	0,0000087	0,9370	0,0000088	0,9597
110	0,0000074	0,9552	0,0000064	0,9539	0,0000070	0,9609	0,0000084	0,9375	0,0000085	0,9610

## **8. ANÁLISE DE FAIXAS ADICIONAIS E DE ZONAS DE ULTRAPASSAGENS PROIBIDAS**

### **8.1. Análise de faixas adicionais de subida**

Para avaliação do impacto das faixas adicionais de subida, foi considerada a avaliação realizada por Melo (2007), que indica critérios para a implantação de faixa adicional para as condições encontradas em rodovias brasileiras. Dentre as recomendações, estão as características dos segmentos que justificam a implantação de faixas adicionais de subida, que são comprimento mínimo de 500 m e inclinação mínima de 2% (Melo, 2007). Então, adotando-se essa premissa, foram criadas faixas adicionais de subida nos segmentos hipotéticos elaborados para os modelos base.

A partir desse critério, não foi identificada a necessidade de implantação de faixa adicional de subida em nenhum trecho com COG = 1, pois o desempenho dos caminhões é menos afetado pelas rampas, que, por consequência, são mais suaves ou curtas que a das outras classes de alinhamento vertical. A Tabela 8.1 exemplifica a implantação de faixas adicionais em um dos trechos hipotéticos do COG 5, e os demais segmentos podem ser vistos no Apêndice B.

Tabela 8.1: Subtrechos hipotéticos indicados para implantação de faixa adicional para um trecho hipotético com COG = 5

Trecho Hipotético COG 5 (V-10)		
Rampa (%)	Extensão (m)	Implantação de faixa adicional?
9	1565	Sim
-7	520	Não
3	1239	Sim
-9	501	Não
4	677	Sim
-7	1131	Não
9	857	Sim
-9	633	Não
9	688	Sim
-9	404	Não
7	1785	Sim
Total (m)	10.000	

Tabela 8.2: Fatores de ajuste para faixas adicionais de Subida - COG 5

		$P_{hv}$ (%)					
		0	10	20	30	40	50
$q_d$ (veic/h)		$FFS_d = 70\text{km/h}$					
200	0,7685	0,6940	0,8963	0,8071	0,6369	0,4784	
400	1,5371	1,3879	1,7927	1,6143	1,2738	0,9567	
600	2,3056	2,0819	2,6890	2,4214	1,9108	1,4351	
800	3,0742	2,7758	3,5854	3,2285	2,5477	1,9134	
1000	3,8427	3,4698	4,4817	4,0357	3,1846	2,3918	
1400	5,3798	4,8577	6,2744	5,6500	4,4585	3,3485	
1600	6,1483	5,5517	7,1707	6,4571	5,0954	3,8268	
1800	6,9168	6,2456	8,0671	7,2642	5,7323	4,3052	
$q_d$ (veic/h)		$FFS_d = 80\text{ km/h}$					
200	0,6952	0,7243	0,9569	0,8396	0,6794	0,5395	
400	1,3904	1,4486	1,9137	1,6793	1,3588	1,0789	
600	2,0855	2,1729	2,8706	2,5189	2,0382	1,6184	
800	2,7807	2,8972	3,8274	3,3585	2,7176	2,1579	
1000	3,4759	3,6215	4,7843	4,1981	3,3970	2,6973	
1400	4,8662	5,0701	6,6980	5,8774	4,7557	3,7763	
1600	5,5614	5,7944	7,6548	6,7170	5,4351	4,3157	
1800	6,2566	6,5187	8,6117	7,5567	6,1145	4,8552	
$q_d$ (veic/h)		$FFS_d = 90\text{ km/h}$					
200	0,6568	0,8029	0,9633	0,8532	0,7051	0,5814	
400	1,3136	1,6058	1,9267	1,7064	1,4103	1,1628	
600	1,9703	2,4087	2,8900	2,5596	2,1154	1,7442	
800	2,6271	3,2116	3,8534	3,4128	2,8205	2,3256	
1000	3,2839	4,0144	4,8167	4,2660	3,5257	2,9069	
1400	4,5975	5,6202	6,7434	5,9724	4,9360	4,0697	
1600	5,2542	6,4231	7,7068	6,8256	5,6411	4,6511	
1800	5,9110	7,2260	8,6701	7,6789	6,3462	5,2325	
$q_d$ (veic/h)		$FFS_d = 100\text{ km/h}$					
200	0,6391	0,8036	0,9028	0,8535	0,7004	0,5687	
400	1,2782	1,6071	1,8055	1,7070	1,4008	1,1374	
600	1,9174	2,4107	2,7083	2,5605	2,1013	1,7061	
800	2,5565	3,2142	3,6110	3,4140	2,8017	2,2748	
1000	3,1956	4,0178	4,5138	4,2675	3,5021	2,8435	
1400	4,4738	5,6249	6,3193	5,9744	4,9030	3,9810	
1600	5,1130	6,4284	7,2221	6,8279	5,6034	4,5497	
1800	5,7521	7,2320	8,1248	7,6814	6,3038	5,1184	
$q_d$ (veic/h)		$FFS_d = 110\text{ km/h}$					
200	0,6121	0,8005	0,8632	0,8538	0,6626	0,5477	
400	1,2241	1,6011	1,7264	1,7076	1,3252	1,0954	
600	1,8362	2,4016	2,5896	2,5614	1,9878	1,6431	
800	2,4482	3,2021	3,4528	3,4152	2,6504	2,1908	
1000	3,0603	4,0026	4,3160	4,2691	3,3130	2,7384	
1400	4,2844	5,6037	6,0424	5,9767	4,6382	3,8338	
1600	4,8964	6,4042	6,9056	6,8305	5,3008	4,3815	
1800	5,5085	7,2048	7,7688	7,6843	5,9635	4,9292	

Partindo das mesmas premissas utilizadas para gerar a  $FD$  base, foram realizadas novas simulações para cálculo do modelo de densidade de veículos em pelotões com os trechos com

faixas adicionais de subida ( $FD_{fas}$ ). Novamente, foram realizadas regressões para validar o modelo de faixa adicional de subida. O modelo de faixa adicional tem a mesma formulação do modelo básico da  $FD_d$ , entretanto possui os parâmetros de calibração  $a$  específicos para os segmentos com faixa adicional e são apresentados com o resultado  $R^2$  no Apêndice C. Após a obtenção dos parâmetros  $a$  dos modelos com faixas adicionais obtidos por meio de regressão, foram calculados o fator de ajuste para as faixas adicionais de subida  $f_{fa}$ , que consistem na diferença entre a  $FD_d$  base pela  $FD_{fas}$ , como ilustra a Equação 8.1, para diferentes combinações de COG,  $FFS_d$  e  $P_{hv}$ .

$$f_{fa} = FD_d - FD_{fas}, \quad (8.1)$$

A Tabela 8.2 apresenta o  $f_{fa}$  para o COG 5 do modelo linear. Os valores intermediários de  $f_{fa}$  para valores de  $P_{hv}$  e  $FFS_d$  diferentes dos apresentados na Tabela 8.2 devem ser obtidos por meio de interpolação linear. Para outros valores de COG do modelo linear e para o modelo quadrático, os  $f_{fa}$  são apresentados no Apêndice D.

Destaca-se que o efeito das faixas adicionais de subida variou de acordo com o COG, sendo mais evidente em diferentes combinações dos parâmetros do modelo. Para o COG = 2, a faixa adicional apresentou pouca influência no resultado da  $FD_d$ , com os dois modelos demonstrando pouca efetividade da faixa adicional para essa categoria de alinhamento vertical. No modelo quadrático, a maior redução na  $FD_d$  foi obtida com  $P_{hv} = 20\%$  para todas as  $FFS_d$ . No modelo linear, a faixa adicional reduziu mais a  $FD_d$  nas condições de  $P_{hv} = 50\%$  para as  $FFS_d = 110$  km/h e  $FFS_d = 70$  km/h. Para as  $FFS_d = 80$  km/h,  $FFS_d = 90$  km/h e  $FFS_d = 100$  km/h, os maiores fatores de ajuste foram com  $P_{hv} = 30\%$ .

Para COG = 3 e  $P_{hv} = 0\%$ , não foi observada uma redução de  $FD_d$  para nenhum valor de  $FFS_d$ . Com o  $P_{hv} = 40\%$ , foram obtidos os maiores efeitos na redução do  $FD_d$ . Os resultados menos expressivos obtidos com o COG = 4 também foram para  $P_{hv} = 0\%$ , para todas as  $FFS_d$ . Os maiores  $f_{fa}$  foram observados para  $P_{hv} = 20\%$ , com exceção da  $FFS_d = 110$  km/h do modelo linear, em que o maior efeito foi observado com  $P_{hv} = 30\%$ .

Com COG = 5, os maiores  $f_{fa}$  foram percebidos com  $P_{hv} = 20\%$ , com exceção da  $FFS_d = 110$  km/h do modelo quadrático, em que o maior efeito foi observado com  $P_{hv} = 30\%$ . Para todas as  $FFS_d$  de ambos modelos, os menores impactos foram registrados com  $P_{hv} = 50\%$ .

De modo geral, pode-se perceber que, com um  $P_{hv}$  muito elevado, o  $f_{fa}$  é menor do que com  $P_{hv}$ 's menores, isto é, com  $P_{hv}$ 's muito elevados a densidade de veículos em pelotões é menos influenciada pela faixa adicional. Por outro lado, para diferentes valores de  $P_{hv}$  e valores de COG muito baixos, a faixa adicional não produz grandes efeitos na redução de  $FD_d$ .

## 8.2. Determinação do impacto das zonas de ultrapassagens proibidas

Para avaliação do impacto das zonas de ultrapassagens proibidas, foram criados segmentos com 50% e 100% de zonas de ultrapassagens proibidas (NPZ) nos 50 segmentos hipotéticos elaborados para os modelos base. Na análise com 50% de zonas de ultrapassagens proibidas, os segmentos com proibição de ultrapassagens foram posicionados nos vales dos trechos hipotéticos entre as subidas e descidas, pois o VISSIM não permite que o motorista realize ultrapassagens sem visibilidade do sentido oposto (PTV, 2018), o que pode ser o caso no final de rampas muito íngremes. Dessa forma, optou-se por posicionar as zonas de ultrapassagens proibidas em segmentos em que há visibilidade para capturar o comportamento do motorista quando a razão da zona de ultrapassagem proibida não é a visibilidade.

Partindo das mesmas premissas utilizadas para gerar a  $FD$  base, foram realizadas novas simulações para cálculo do modelo de  $FD_d$  com 50% e 100% de zonas de ultrapassagens proibidas para cada categoria de COG, gerando assim o modelo da  $FD_{npz}$ . Novamente, os modelos de zonas de ultrapassagens proibidas têm a mesma formulação do modelo básico da  $FD_d$ ; entretanto, possui os parâmetros de calibração  $a$  específicos para os segmentos com zonas de ultrapassagens proibidas e são apresentados com o resultado  $R^2$  no Apêndice C.

Tabela 8.3: Fator de Ajuste  $FD_d$  com NPZ = 50%, COG = 4

NPZ	Phv (%)											
	0		10		20		30		40		50	
	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%
<b><i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i></b>												<b><i>FFS<sub>d</sub> = 70 km/h</i></b>
200	0,5586	1,1781	0,3936	0,9374	0,2565	0,6192	0,1405	0,4591	0,0934	0,3265	0,0933	0,3502
400	1,1172	2,3563	0,7873	1,8747	0,5131	1,2384	0,2810	0,9183	0,1867	0,6531	0,1865	0,7004
600	1,6758	3,5344	1,1809	2,8121	0,7696	1,8576	0,4215	1,3774	0,2801	0,9796	0,2798	1,0506
800	2,2344	4,7126	1,5746	3,7494	1,0261	2,4768	0,5620	1,8365	0,3734	1,3062	0,3731	1,4007
1000	2,7930	5,8907	1,9682	4,6868	1,2827	3,0959	0,7025	2,2956	0,4668	1,6327	0,4663	1,7509
1400	3,9103	8,2470	2,7555	6,5615	1,7957	4,3343	0,9834	3,2139	0,6535	2,2858	0,6529	2,4513
1600	4,4689	9,4251	3,1492	7,4988	2,0522	4,9535	1,1239	3,6730	0,7468	2,6124	0,7462	2,8015
1800	5,0275	10,6032	3,5428	8,4362	2,3088	5,5727	1,2644	4,1321	0,8402	2,9389	0,8394	3,1517
<b><i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i></b>												<b><i>FFS<sub>d</sub> = 80 km/h</i></b>
200	0,5658	1,1152	0,3621	0,8585	0,1793	0,5014	0,1121	0,3991	0,0816	0,2921	0,0335	0,2759
400	1,1317	2,2303	0,7242	1,7169	0,3586	1,0027	0,2241	0,7983	0,1633	0,5841	0,0671	0,5519
600	1,6975	3,3455	1,0863	2,5754	0,5379	1,5041	0,3362	1,1974	0,2449	0,8762	0,1006	0,8278
800	2,2634	4,4606	1,4484	3,4338	0,7172	2,0055	0,4482	1,5966	0,3266	1,1683	0,1341	1,1037
1000	2,8292	5,5758	1,8105	4,2923	0,8965	2,5069	0,5603	1,9957	0,4082	1,4604	0,1677	1,3797
1400	3,9609	7,8061	2,5347	6,0092	1,2551	3,5096	0,7844	2,7940	0,5715	2,0445	0,2348	1,9315
1600	4,5268	8,9213	2,8968	6,8677	1,4344	4,0110	0,8964	3,1932	0,6531	2,3366	0,2683	2,2074
1800	5,0926	10,0364	3,2589	7,7261	1,6137	4,5123	1,0085	3,5923	0,7348	2,6286	0,3018	2,4834
<b><i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i></b>												<b><i>FFS<sub>d</sub> = 90 km/h</i></b>
200	0,5115	1,0299	0,3179	0,7584	0,1332	0,4134	0,0658	0,3254	0,0212	0,2047	0,0036	0,1970
400	1,0229	2,0597	0,6358	1,5167	0,2664	0,8269	0,1315	0,6507	0,0425	0,4094	0,0072	0,3939
600	1,5344	3,0896	0,9537	2,2751	0,3996	1,2403	0,1973	0,9761	0,0637	0,6141	0,0108	0,5909
800	2,0458	4,1194	1,2716	3,0334	0,5328	1,6538	0,2630	1,3014	0,0849	0,8189	0,0143	0,7878
1000	2,5573	5,1493	1,5895	3,7918	0,6661	2,0672	0,3288	1,6268	0,1061	1,0236	0,0179	0,9848
1400	3,5802	7,2090	2,2253	5,3085	0,9325	2,8941	0,4603	2,2775	0,1486	1,4330	0,0251	1,3787
1600	4,0917	8,2388	2,5432	6,0668	1,0657	3,3076	0,5261	2,6028	0,1698	1,6377	0,0287	1,5756
1800	4,6031	9,2687	2,8611	6,8252	1,1989	3,7210	0,5918	2,9282	0,1910	1,8424	0,0323	1,7726
<b><i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i></b>												<b><i>FFS<sub>d</sub> = 100 km/h</i></b>
200	0,6698	0,9539	0,2666	0,6820	0,1222	0,4032	0,0624	0,3203	0,0043	0,1716	-0,0129	0,1398
400	1,3397	1,9078	0,5332	1,3639	0,2444	0,8064	0,1249	0,6405	0,0087	0,3432	-0,0258	0,2795
600	2,0095	2,8617	0,7998	2,0459	0,3666	1,2096	0,1873	0,9608	0,0130	0,5147	-0,0387	0,4193
800	2,6794	3,8156	1,0664	2,7279	0,4887	1,6128	0,2497	1,2811	0,0174	0,6863	-0,0517	0,5591
1000	3,3492	4,7696	1,3330	3,4099	0,6109	2,0160	0,3121	1,6014	0,0217	0,8579	-0,0646	0,6989
1400	4,6889	6,6774	1,8663	4,7738	0,8553	2,8223	0,4370	2,2419	0,0304	1,2010	-0,0904	0,9784
1600	5,3588	7,6313	2,1329	5,4558	0,9775	3,2255	0,4994	2,5622	0,0348	1,3726	-0,1033	1,1182
1800	6,0286	8,5852	2,3995	6,1377	1,0997	3,6287	0,5618	2,8825	0,0391	1,5442	-0,1162	1,2580
<b><i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i></b>												<b><i>FFS<sub>d</sub> = 110 km/h</i></b>
200	0,4535	0,8948	0,1916	0,5884	0,1220	0,3906	0,0622	0,3038	0,0024	0,1752	0,0120	0,1620
400	0,9070	1,7896	0,3831	1,1769	0,2440	0,7812	0,1244	0,6075	0,0048	0,3504	0,0240	0,3240
600	1,3605	2,6844	0,5747	1,7653	0,3660	1,1718	0,1866	0,9113	0,0073	0,5257	0,0360	0,4860
800	1,8140	3,5791	0,7663	2,3538	0,4880	1,5624	0,2488	1,2150	0,0097	0,7009	0,0480	0,6480
1000	2,2676	4,4739	0,9578	2,9422	0,6100	1,9530	0,3110	1,5188	0,0121	0,8761	0,0600	0,8100
1400	3,1746	6,2635	1,3410	4,1191	0,8539	2,7342	0,4353	2,1263	0,0169	1,2265	0,0840	1,1339
1600	3,6281	7,1583	1,5325	4,7076	0,9759	3,1248	0,4975	2,4300	0,0193	1,4018	0,0959	1,2959
1800	4,0816	8,0531	1,7241	5,2960	1,0979	3,5153	0,5597	2,7338	0,0218	1,5770	0,1079	1,4579

Assim, com o novo modelo de  $FD_{npz}$ , foi possível calcular a densidade de veículos em pelotões para os segmentos com 50% e 100% de NPZ. Então, foi aplicada a Equação 8.2 para determinar o fator de ajuste para as zonas de ultrapassagens proibidas ( $f_{npz}$ ) para NPZ de 50% e de 100%, para diferentes valores de COG,  $P_{hv}$  e  $FFS_d$ :

$$f_{npz} = FD_{npz} - FD_d, \quad (8.2)$$

em que  $f_{npz}$  é o fator de ajuste para as faixas adicionais de subida;  $FD_d$  é o Modelo Base para a densidade de veículos em pelotão e  $FD_{npz}$  é a densidade de veículos em pelotões em segmentos com zonas de ultrapassagens proibidas.

Os valores intermediários de  $f_{npz}$  para valores de  $P_{hv}$  e  $FFS_d$  diferentes dos apresentados na Tabela 8.3 devem ser obtidos por meio de interpolação linear. A Tabela 8.3 apresenta o  $f_{npz}$  para o COG 4 do modelo linear. Para outros valores de COG do modelo linear e para os resultados do modelo quadrático, os  $f_{npz}$  são apresentados no Apêndice D.

Com os resultados dos modelos, foi possível verificar o efeito das zonas de ultrapassagens proibidas na densidade de veículos em pelotão unidirecional. Com a NPZ de 100%, a  $FD_d$  apresentou um impacto significativo para diferentes combinações de COG, FFS e Phv. Entretanto, os resultados com  $NPZ = 50\%$  variaram, tendo apresentando pouco impacto para algumas combinações de COG, FFS e  $P_{hv}$ .

O COG = 1 apresentou resultados semelhantes para a  $FD_d$  para o Modelo Base, para  $NPZ = 50\%$  e para  $NPZ = 100\%$ , considerando todas as  $FFS$  e  $P_{hv}$ 's simulados. Esse fato pode estar diretamente relacionado as características geométricas desse segmento, que não impactam tão significativamente o desempenho dos veículos pesados e reduzem a demanda por ultrapassagens. As Figuras 8.1 e 8.2 demonstram os resultados para  $FFS$  de 70 km/h para os modelos linear e quadrático, respectivamente, e é perceptível que os modelos não são significativamente influenciados pela NPZ.

Figura 8.1: Resultados para COG = 1, FFS = 70 km/h,  $P_{hv} = 0\%$  (a),  $P_{hv} = 10\%$  (b),  $P_{hv} = 20\%$  (c),  $P_{hv} = 30\%$  (d),  $P_{hv} = 40\%$  (e) e  $P_{hv} = 50\%$  (f) – Modelo Linear

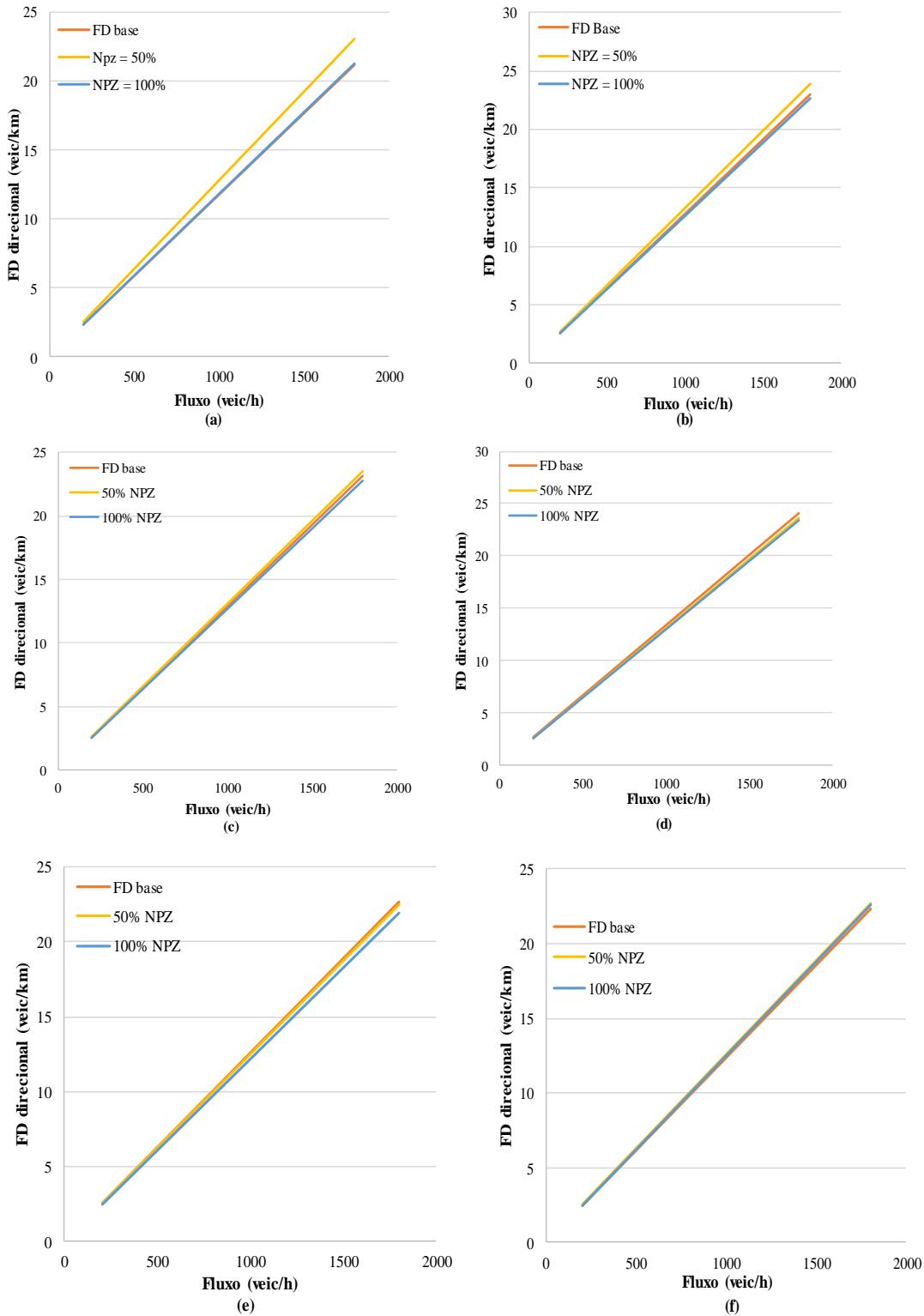
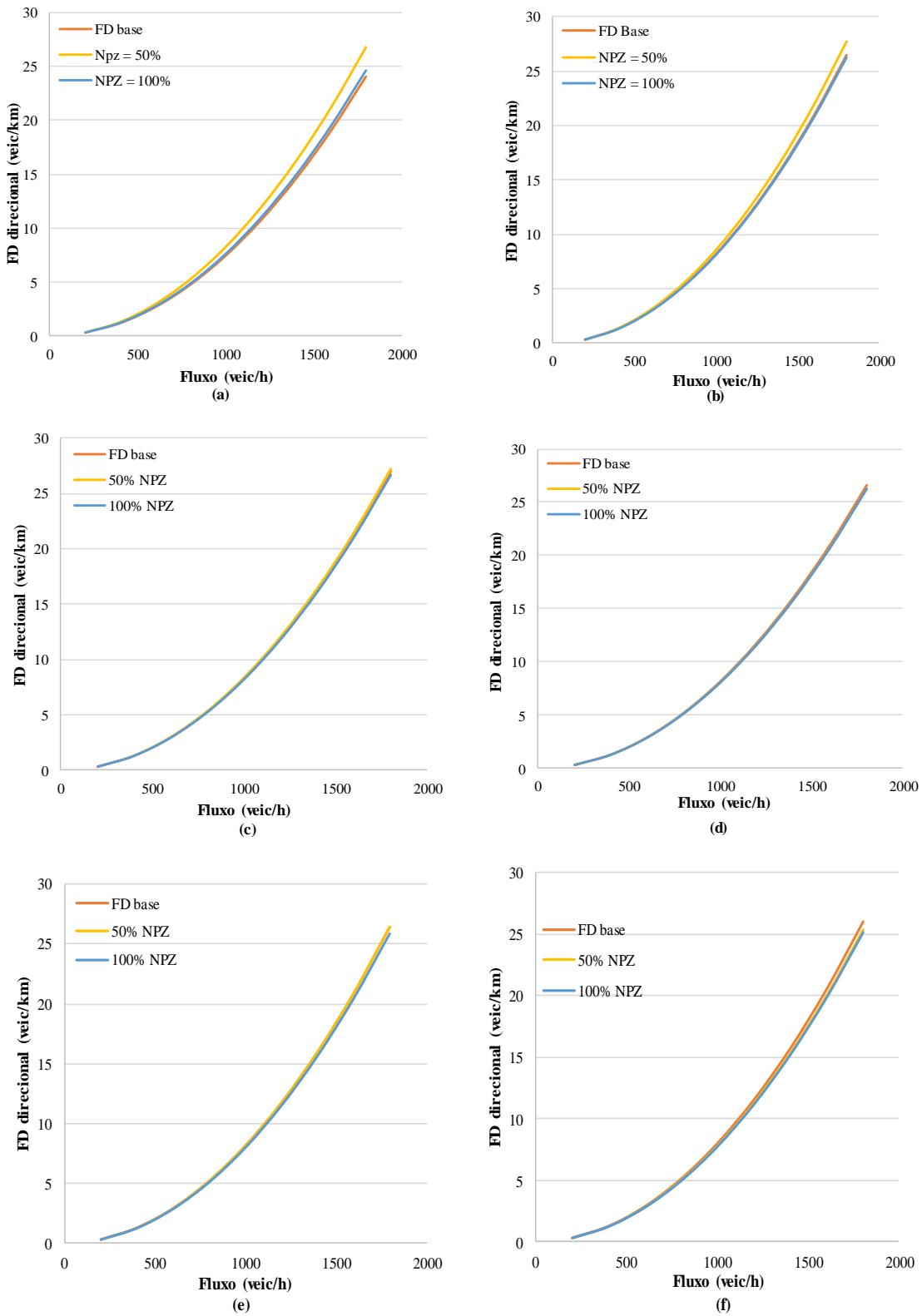


Figura 8.2: Resultados para COG = 1, FFS = 70 km/h,  $P_{hv} = 0\%$  (a),  $P_{hv} = 10\%$  (b),  $P_{hv} = 20\%$  (c),  $P_{hv} = 30\%$  (d),  $P_{hv} = 40\%$  (e) e  $P_{hv} = 50\%$  (f) – Modelo Quadrático



Para o COG = 2 e o COG = 3 e  $P_{hv}$ 's de 0% e de 10 %, os segmentos com 100% de NPZ resultaram em uma  $FD_d$  maior que a  $FD_d$  de 50% de NPZ, que por sua vez apresentaram  $FD_d$  mais elevada que o Modelo Base. Entretanto, para os demais  $P_{hv}$ 's, o resultado obtido para a NPZ de 50% foi bastante semelhante ao do Modelo Base, demonstrando pouco efeito das zonas de ultrapassagens proibidas para os segmentos com essas características. Já a  $FD_d$  com a NPZ = 100% foi maior que no Modelo Base e NPZ=50% as ambas. AS Figuras 8.3 a 8.6 ilustram os resultados para os COG's 2 e 3, para velocidade de FFS de 80km/h, sendo possível observar a proximidade dos resultados para 50% de NPZ e o Modelo Base.

Com os segmentos do COG = 4, os resultados obtidos demonstraram uma  $FD_d$  maior para os segmentos com 100% de NPZ que a  $FD_d$  de 50% de NPZ, que por sua vez apresentaram  $FD_d$  mais elevada que o Modelo Base. Somente com  $P_{hv} = 50\%$  e  $FFS = 90$  km/h e de 100 km/h que a  $FD_d$  do Modelo Base foi semelhante aos resultados dos segmentos com 50% de NPZ. Mesmo nessas condições, o  $FD_d$  com 100% de NPZ foi maior. As Figuras 8.7 e 8.8 demonstram a diferença entre os modelos analisados para a FFS de 110km/h, sendo perceptível a influência das zonas de ultrapassagens proibidas na densidade de veículos em pelotão.

Por fim, os resultados de  $FD_d$  do COG = 5 e com NPZ=100% foram maiores do que a  $FD_d$  do Modelo Base e com NPZ = 50%. Entretanto, a comparação entre a  $FD_d$  do Modelo Base com a NPZ = 50% oscilou dependendo da FFS e do  $P_{hv}$ , sendo que a  $FD_d$  do Modelo Base foi menor que a  $FD_d$  de 50% NPZ nas seguintes condições: 0% de  $P_{hv}$  (todas FFS); 10% de  $P_{hv}$ , exceto para FFS de 90 km/h; 20% de  $P_{hv}$  e FFS de 110 km/h; 30% de  $P_{hv}$  e FFS de 90 km/h; 40% de  $P_{hv}$  e FFS de 90 km/h; e para 50% de  $P_{hv}$  e FFS de 70 km/h e 80 km/h. As Figuras 8.9 e 8.10 demonstram a diferença entre os modelos analisados para a FFS de 110 km/h.

Esse fato pode ser em função da grande participação de veículos pesados no fluxo de análise que, por serem bastante impactados pelo alinhamento vertical e comprimento desse tipo de COG e por possuírem desempenhos semelhantes, podem ter reduzidas as demandas de ultrapassagens se comparados aos fluxos de tráfego com menor participação de veículos pesados. Ainda assim, quando não existem oportunidades de ultrapassagens, o impacto na  $FD_d$  pode chegar a 5 veic/km, como no caso do COG = 5,  $P_{hv}$  de 0% e FFS de 70 km/h.

Figura 8.3: Resultados para COG = 2, FFS = 80 km/h,  $P_{hv} = 0\%$  (a),  $P_{hv} = 10\%$  (b),  $P_{hv} = 20\%$  (c),  $P_{hv} = 30\%$  (d),  $P_{hv} = 40\%$  (e) e  $P_{hv} = 50\%$  (f) - Modelo Linear

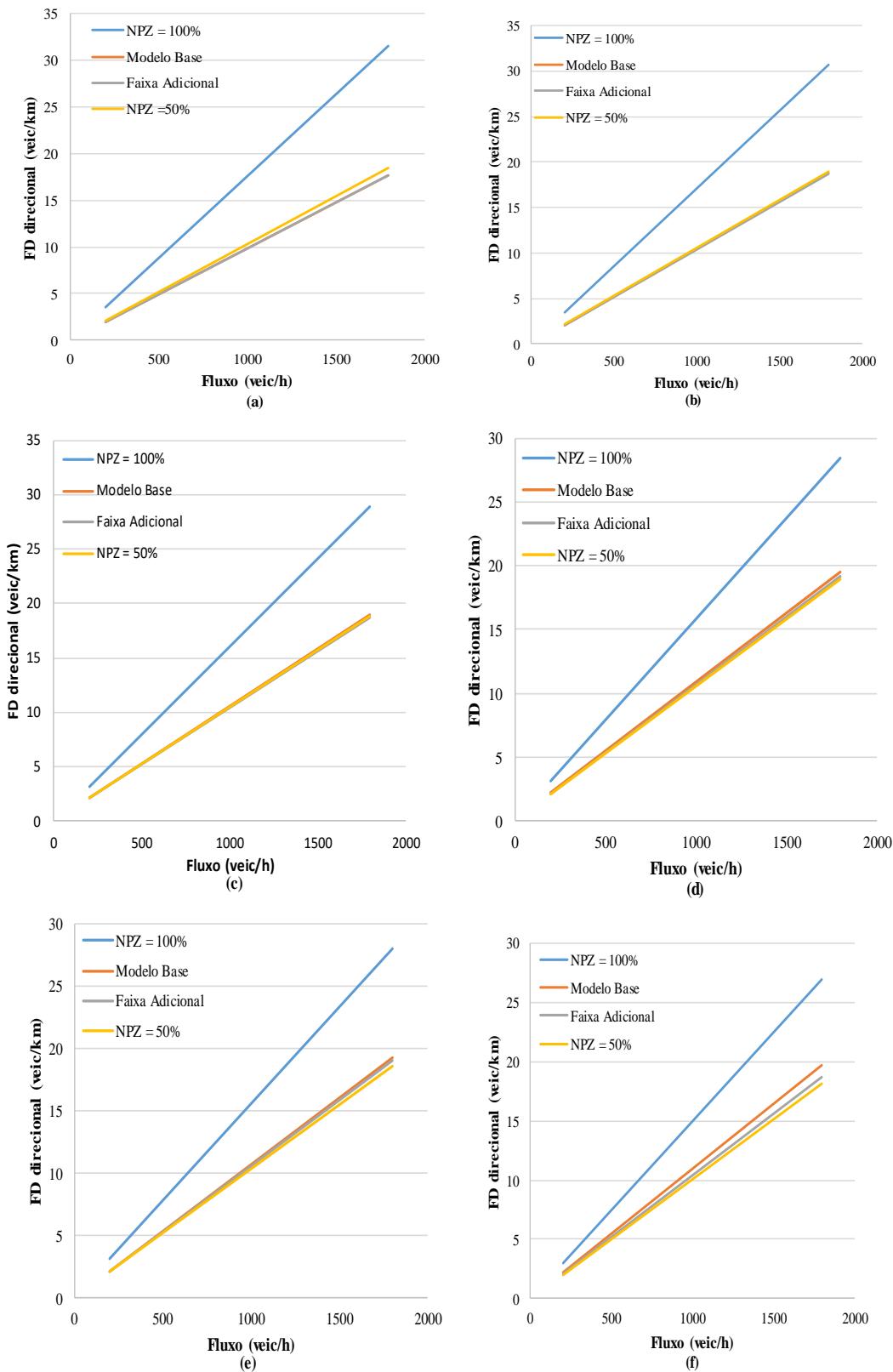


Figura 8.4: Resultados para COG = 3, FFS = 80 km/h,  $P_{hv} = 0\%$  (a),  $P_{hv} = 10\%$  (b),  $P_{hv} = 20\%$  (c),  $P_{hv} = 30\%$  (d),  $P_{hv} = 40\%$  (e) e  $P_{hv} = 50\%$  (f) - Modelo Linear

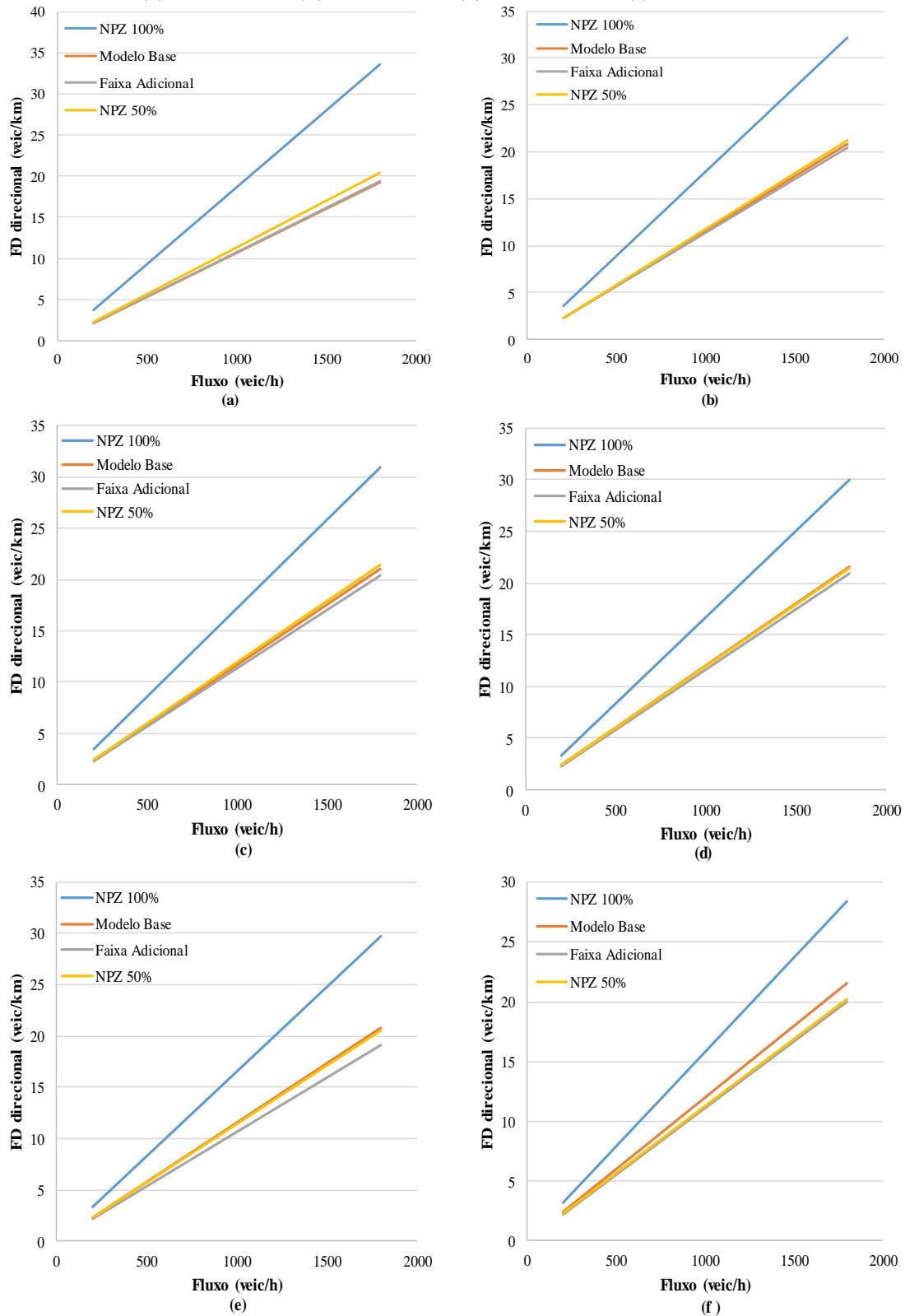


Figura 8.5: Resultados para COG = 2, FFS = 80 km/h,  $P_{hv} = 0\%$  (a),  $P_{hv} = 10\%$  (b),  $P_{hv} = 20\%$  (c),  $P_{hv} = 30\%$  (d),  $P_{hv} = 40\%$  (e) e  $P_{hv} = 50\%$  (f) - Modelo Quadrático

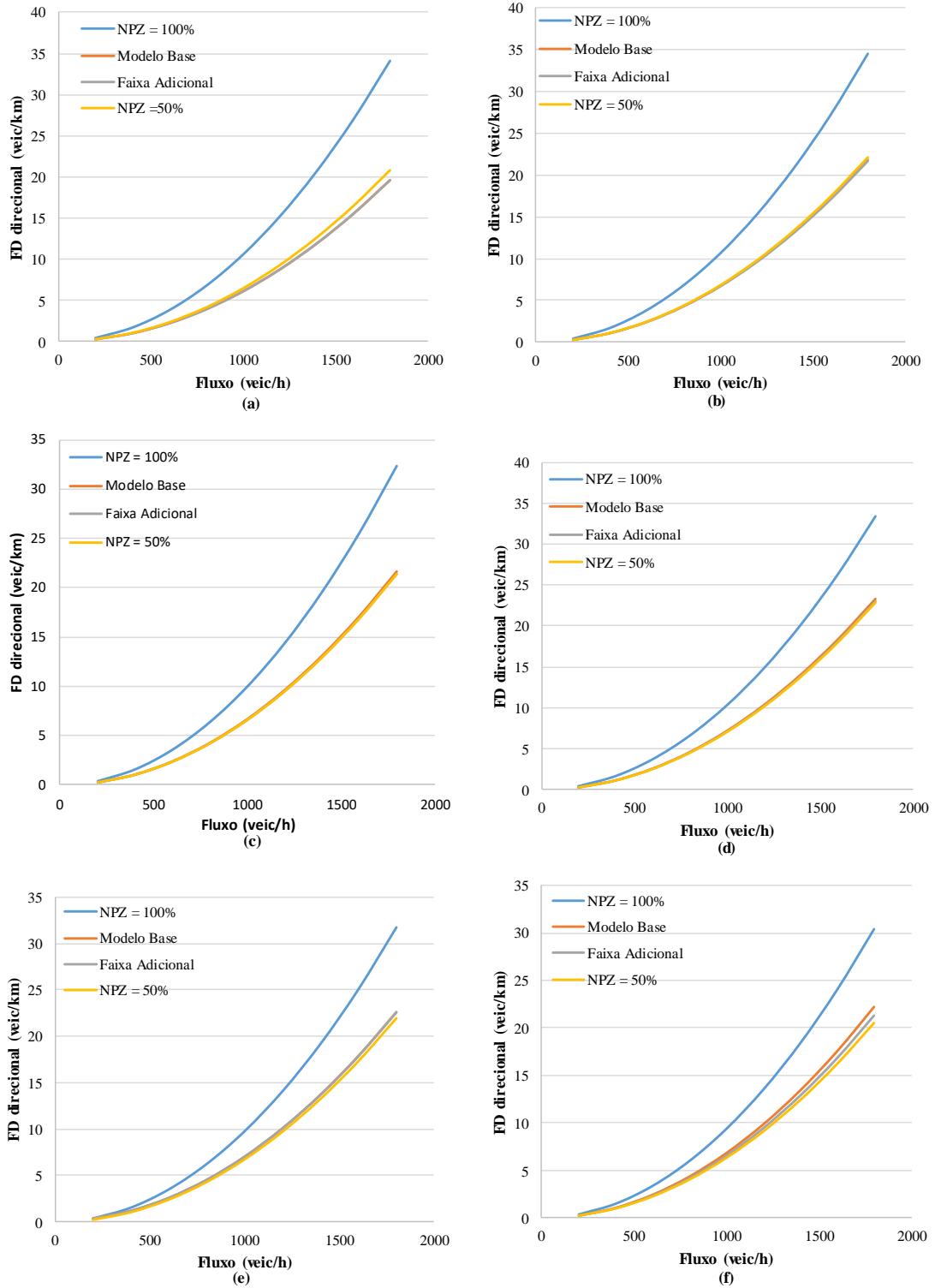


Figura 8.6: Resultados para  $COG = 3$ ,  $FFS = 80 \text{ km/h}$ ,  $P_{hv} = 0\%$  (a),  $P_{hv} = 10\%$  (b),  $P_{hv} = 20\%$  (c),  $P_{hv} = 30\%$  (d),  $P_{hv} = 40\%$  (e) e  $P_{hv} = 50\%$  (f) - Modelo Quadrático

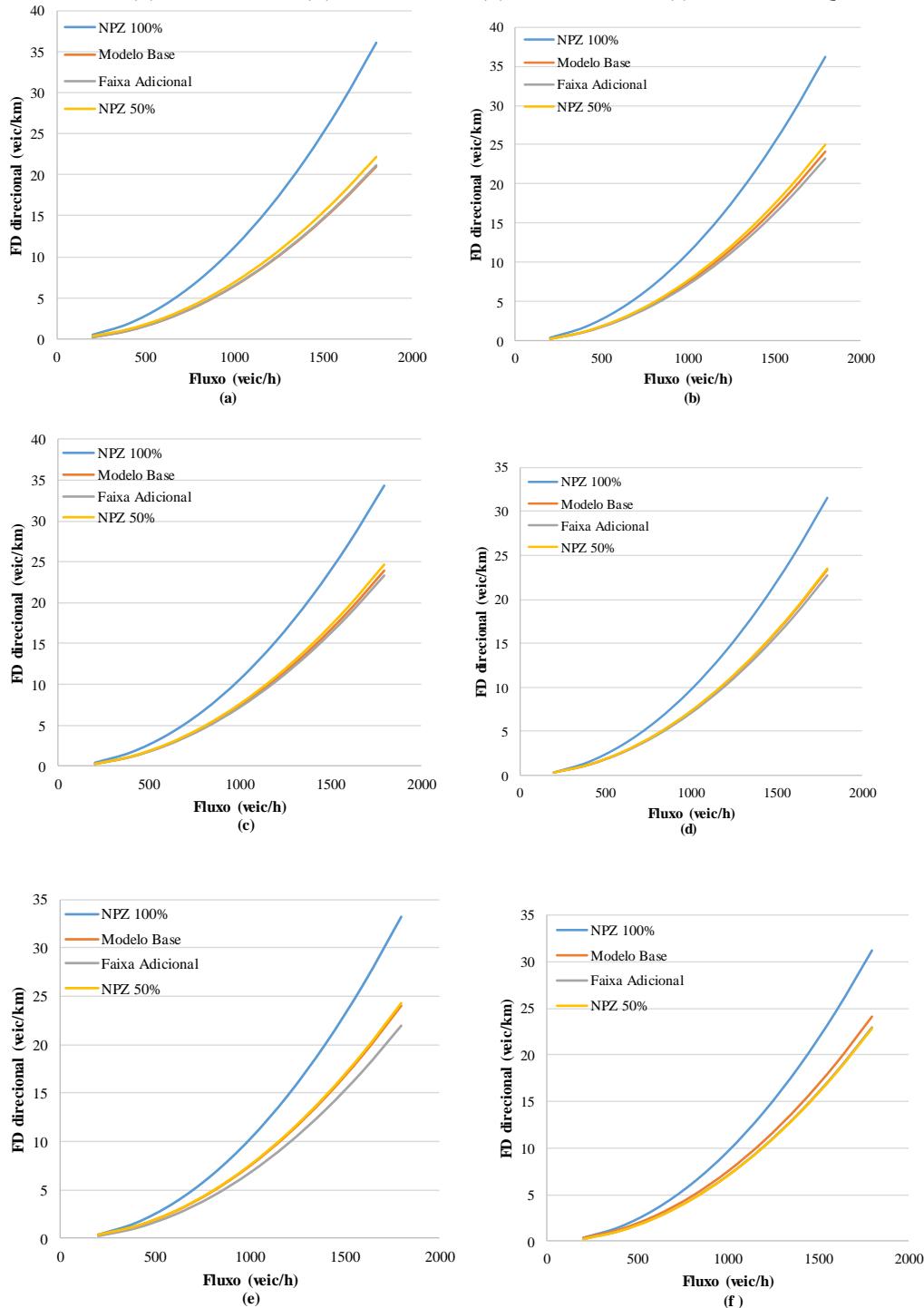


Figura 8.7: Resultados para COG = 4, FFS = 110 km/h,  $P_{hv} = 0\%$  (a),  $P_{hv} = 10\%$  (b),  $P_{hv} = 20\%$  (c),  $P_{hv} = 30\%$  (d),  $P_{hv} = 40\%$  (e) e  $P_{hv} = 50\%$  (f) – Modelo Linear

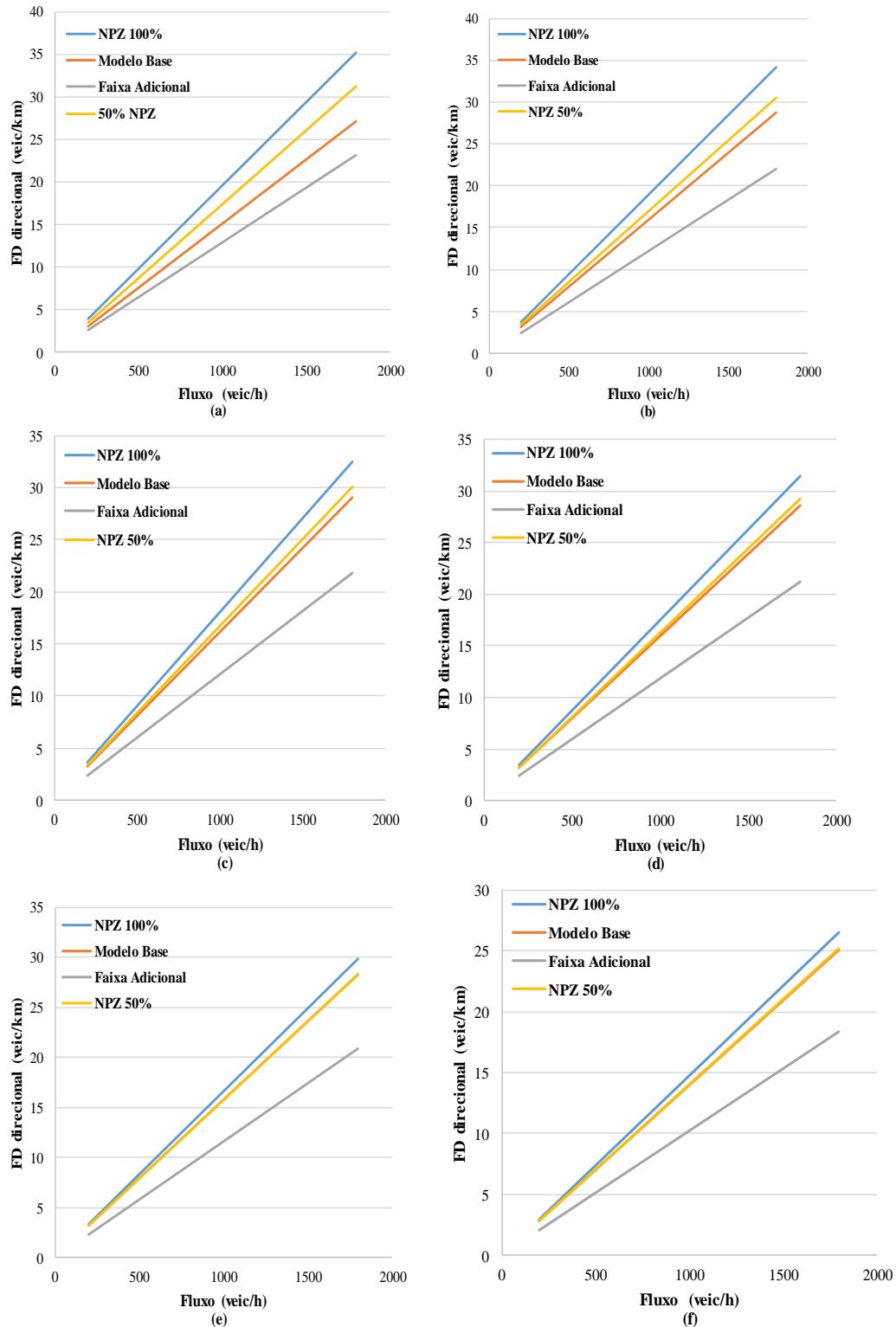


Figura 8.8: Resultados para  $\text{COG} = 4$ ,  $\text{FFS} = 110 \text{ km/h}$ ,  $P_{hv} = 0\%$  (a),  $P_{hv} = 10\%$  (b),  $P_{hv} = 20\%$  (c),  $P_{hv} = 30\%$  (d),  $P_{hv} = 40\%$  (e) e  $P_{hv} = 50\%$  (f) – Modelo Quadrático

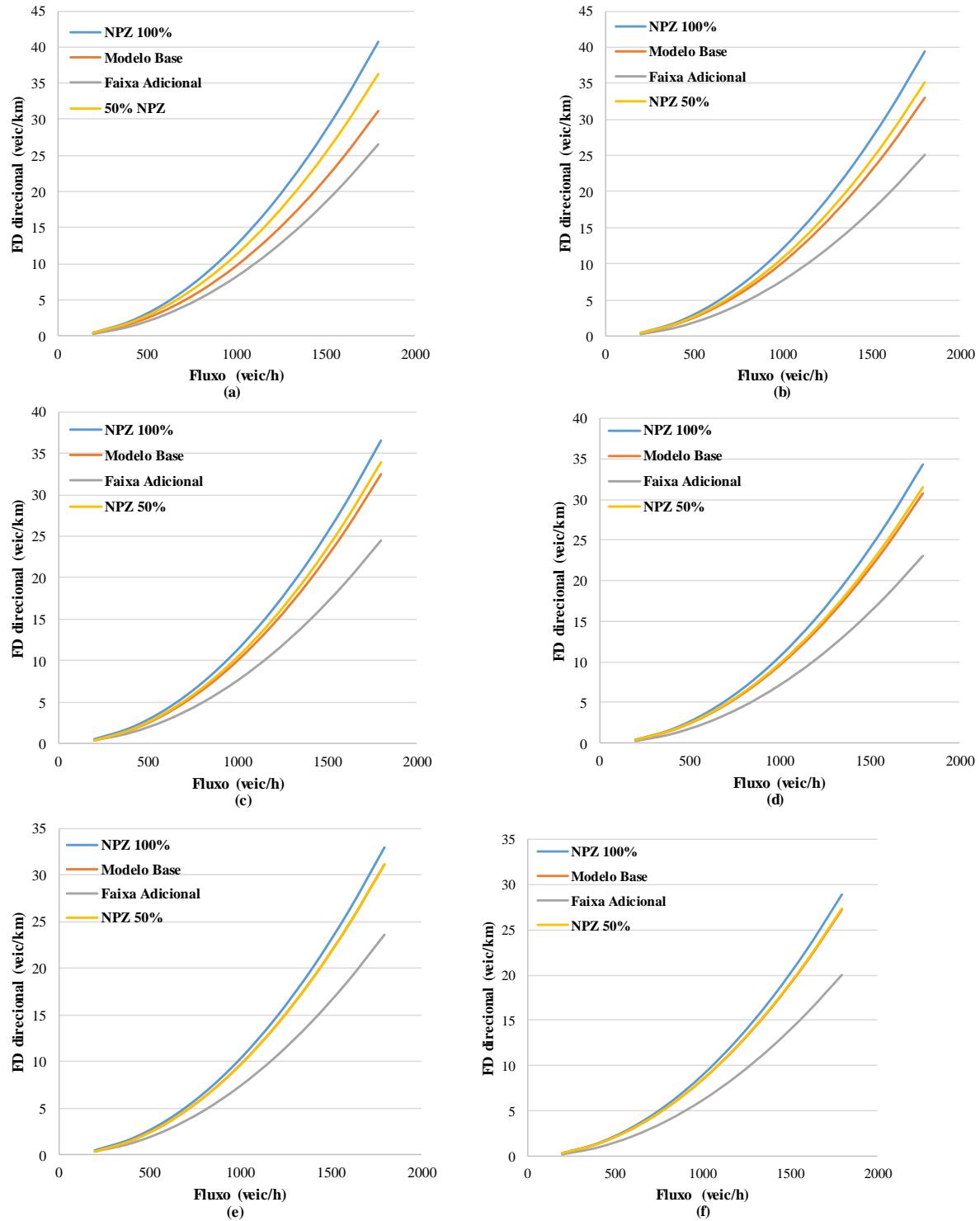


Figura 8.9: Resultados para COG = 5, FFS = 110 km/h,  $P_{hv} = 0\%$  (a),  $P_{hv} = 10\%$  (b),  $P_{hv} = 20\%$  (c),  $P_{hv} = 30\%$  (d),  $P_{hv} = 40\%$  (e) e  $P_{hv} = 50\%$  (f) – Modelo Linear

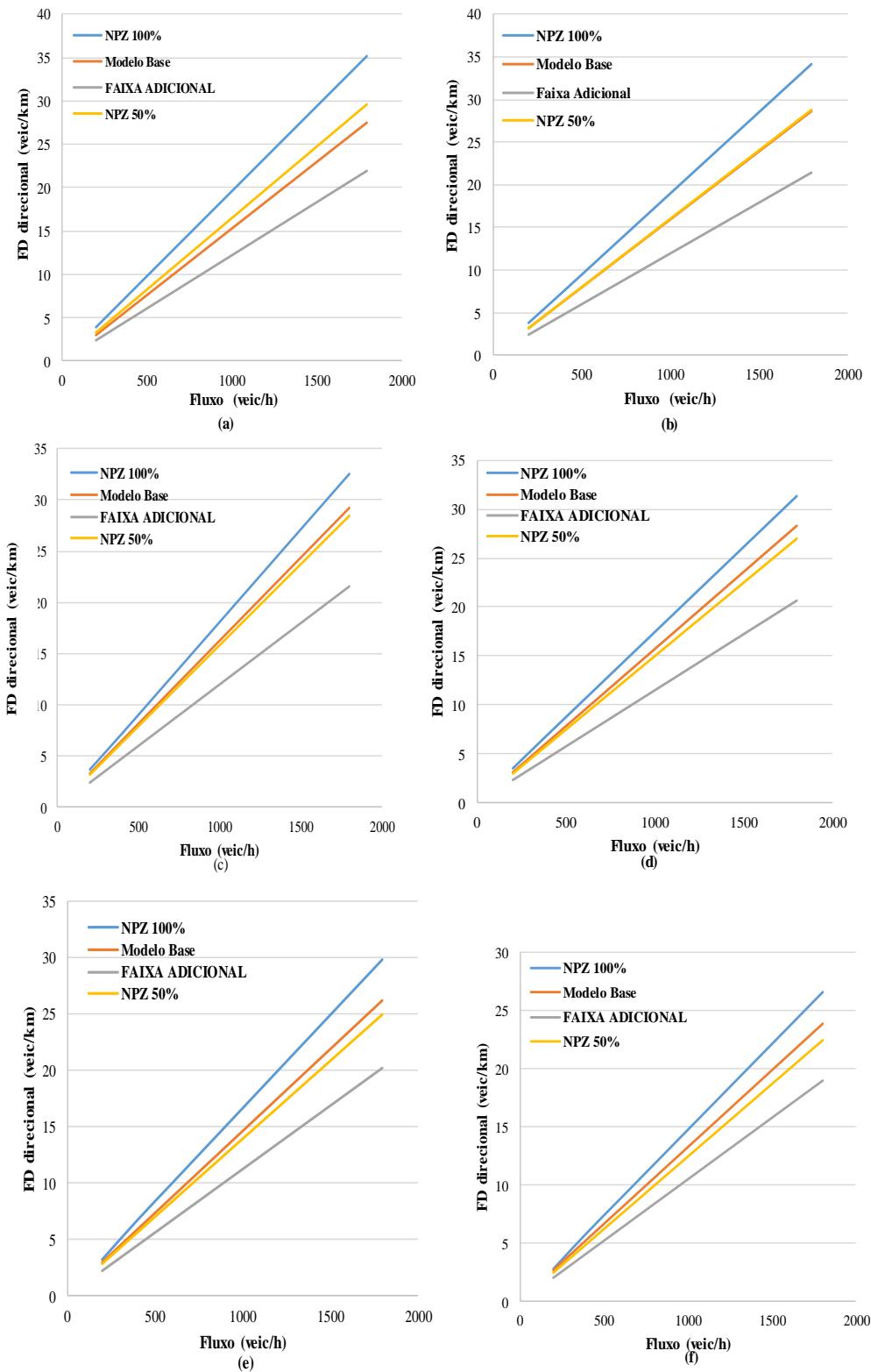
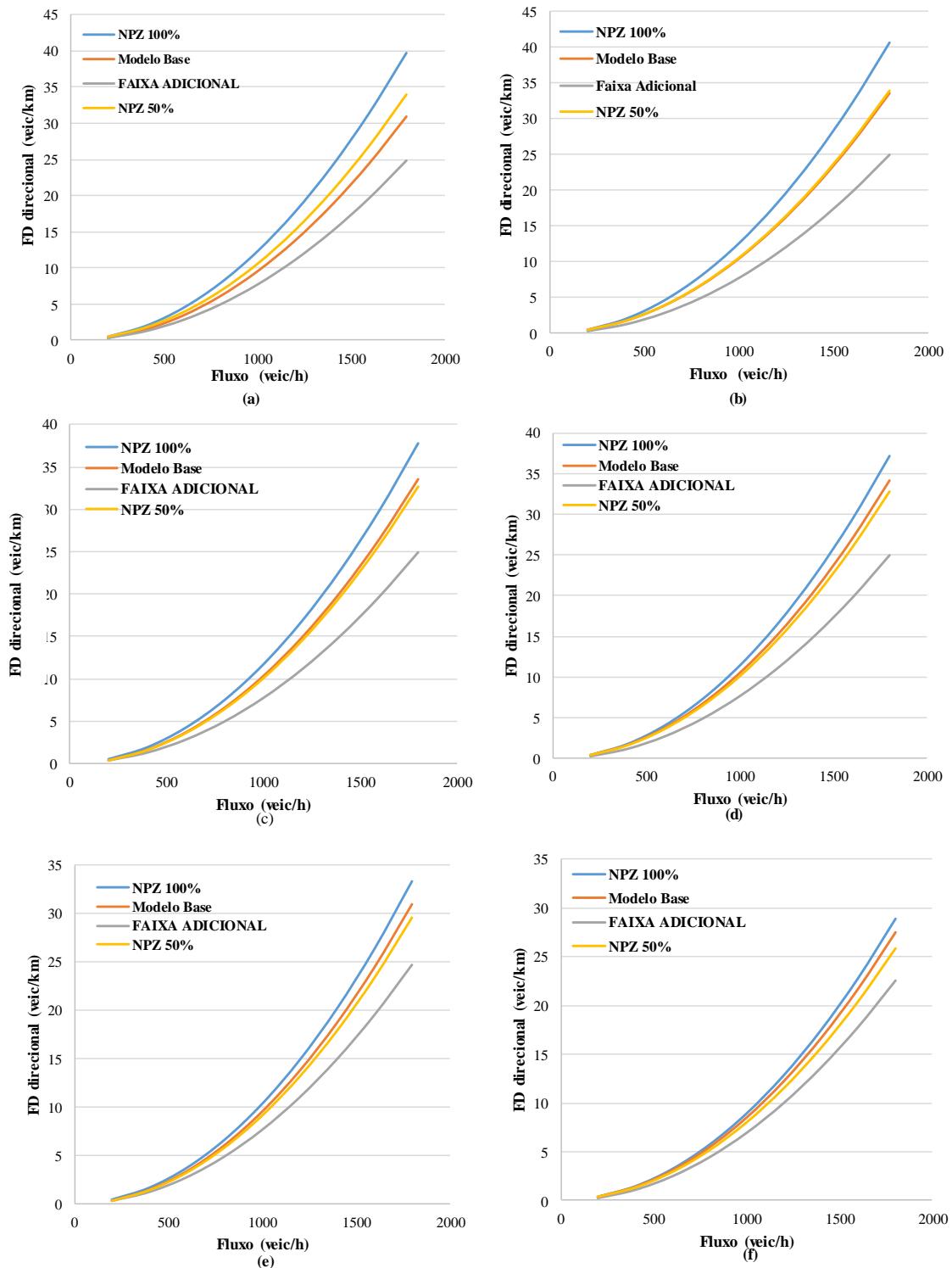


Figura 8.10: Resultados para COG = 5, FFS = 110km/h,  $P_{hv} = 0\%$  (a),  $P_{hv} = 10\%$  (b),  $P_{hv} = 20\%$  (c),  $P_{hv} = 30\%$  (d),  $P_{hv} = 40\%$  (e) e  $P_{hv} = 50\%$  (f) – Modelo Quadrático



## **9. DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DE PROJETO**

Neste capítulo, será apresentado como foi realizada a caracterização dos veículos pesados que circulam na BR-040, tendo, como fim, a simulação de tráfego com o VISSIM. Outros parâmetros de projeto que foram citados no plano de trabalho, como fator K e o gatilho para execução de obras de melhoramento, não foram realizados (ver capítulo de Considerações Finais).

Os diferentes comportamentos dos veículos no VISSIM são modelados de acordo com a aceleração e a desaceleração, juntamente com os dados de massa e de potência, usando-se, para isso, funções de distribuição (em vez de dados médios). O microssimulador fornece funções padrões de aceleração e desaceleração para os tipos de veículos normalmente usados na Europa Ocidental, o que justifica a necessidade da caracterização da frota típica do local que se deseja simular (PTV, 2018).

No microssimulador, existem quatro tipos de funções: duas funções de aceleração, máxima e desejada, e duas de desaceleração, também de máxima e desejada, como mostra a Figura 9.9. A função de aceleração máxima está relacionada com a velocidade atual do veículo e significa aquelas situações em que os motores de combustão são usados plenamente, sobretudo em velocidades mais baixas e em rampas (PTV, 2018).

As curvas – máxima e desejada – situam-se dentro de um intervalo de valores máximo e mínimo, tendo, entre elas, uma curva média representada pela mediana das acelerações em função da velocidade (PTV, 2018). Na Figura 9.9, as curvas com marcadores vermelhos indicam as curvas de máximo e de mínimo, enquanto os marcadores verdes indicam a mediana desse intervalo (para um dado valor de velocidade). A Figura 9.2 mostra as distribuições acumuladas de massa e de potência para o veículo *default* do VISSIM.

A aceleração máxima é usada para manter uma certa velocidade em rampas, ou seja, quando é necessária uma aceleração maior. Ela é ajustada, automaticamente, em  $-0,1 \text{ m/s}^2$  para cada 1% de rampa ascendente e em  $+0,1 \text{ m/s}^2$  para cada 1% de rampa descendente. Essa função é dependente da relação massa/potência dos veículos, da seguinte forma: se a relação massa/potência de um veículo é a mínima possível (da combinação de valores obtidos

aleatoriamente das curvas de massa e de potência), a aceleração máxima é escolhida na curva de valores mínimos, para uma dada velocidade; da mesma forma, se a relação massa/potência é máxima, é selecionada uma aceleração na curva de valores máximos; e se a relação massa/potência tem um valor médio, a aceleração é selecionada com a curva de medianas. Para valores intermediários, é realizada uma interpolação linear. A aceleração desejada é usada em todas as situações em que a aceleração máxima não é necessária, com a aceleração limitada pela desejada (PTV, 2018).

Figura 9.9: Distribuição de aceleração máxima (a) e desejada (b) e de desaceleração máxima (c) e desejada (d) para os caminhões *default* do VISSIM

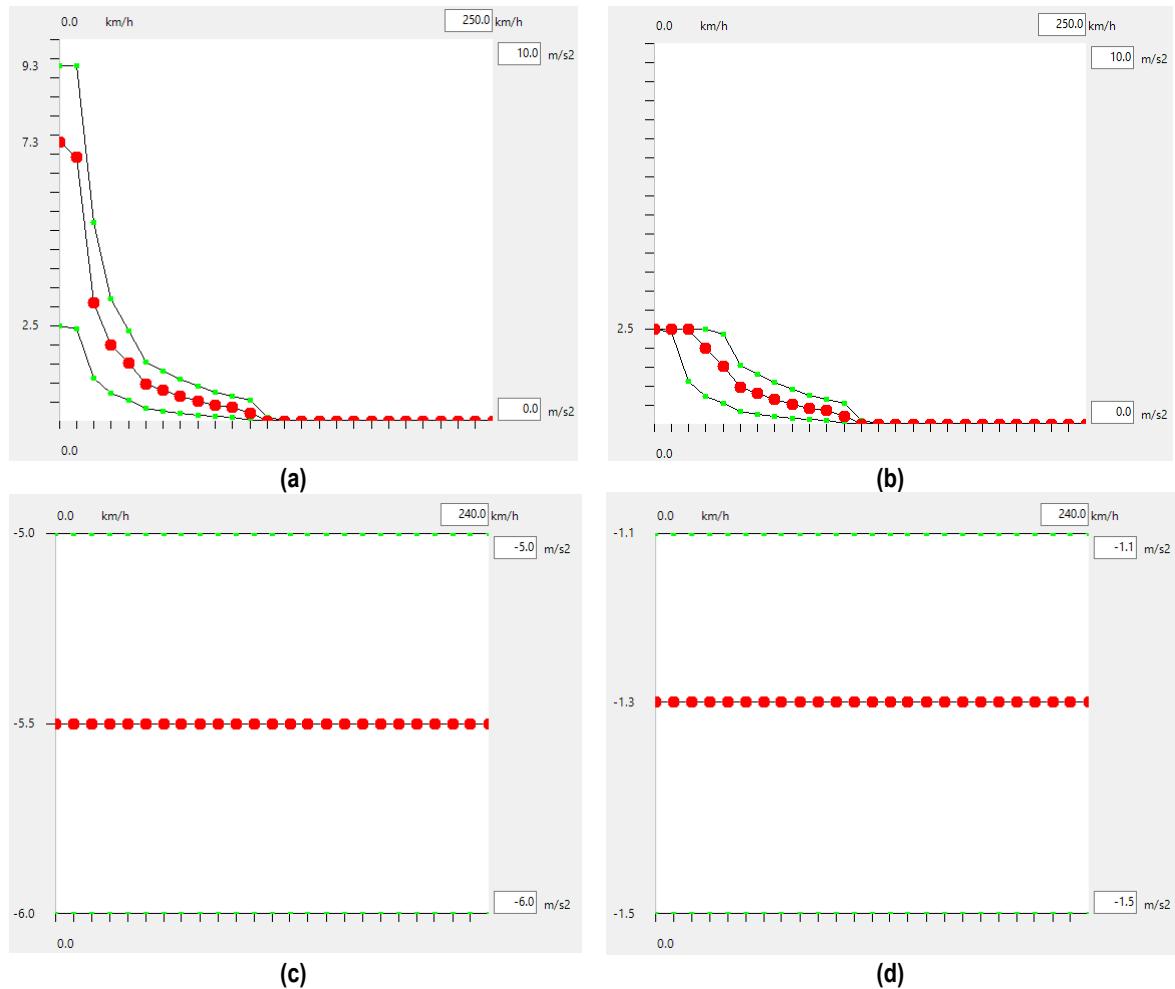
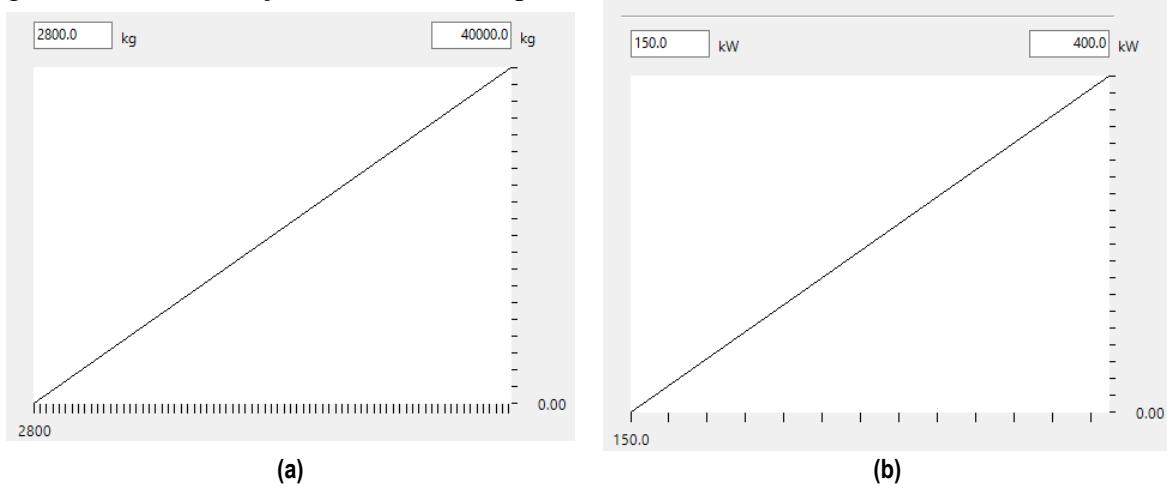


Figura 9.10: Distribuições de massa (a) e potência (b) para o caminhão *default* do VISSIM



A função da desaceleração máxima é baseada no maior valor tecnicamente possível. Como os valores de desaceleração tem um sinal algébrico negativo, a desaceleração máxima é o menor valor de aceleração. A desaceleração desejada é ajustada automaticamente de modo que elas não sejam menores do que a desaceleração máxima. Assim como para a curva de aceleração máxima, a curva de desaceleração máxima é ajustada, automaticamente, em  $-0,1 \text{ m/s}^2$  para cada 1% de rampa ascendente e em  $+0,1 \text{ m/s}^2$  para cada 1% de rampa descendente (PTV, 2018). As funções de desaceleração são usadas para frenagem e não são objeto de análise deste trabalho.

Neste trabalho, as distribuições de massa e de potência foram obtidas em campo, especificamente na rodovia BR-040, que inicia-se em Brasília (DF) e termina no Rio de Janeiro (RJ), com extensão de 1.175,5 km, nos quais 936,8 km são de responsabilidade da concessionária BR-040 S/A. Para caracterizar a frota típica de caminhões da rodovia BR-040 em relação à massa e à potência, foram utilizados dados disponibilizados pela concessionária BR-040 S/A, a partir de pesagens realizadas por balanças móveis em dez pontos ao longo da rodovia, no ano de 2017, de acordo com o apresentado na Tabela 9.1.

Tabela 9.23: Balanças móveis utilizadas na coleta de dados

km	Sentido	Pista	Data da coleta		Tamanho da amostra
			Início	Fim	
<b>47</b>	Norte	Simples	02/05/2017	08/05/2017	3811
<b>86</b>	Norte	Simples	09/05/2017	15/05/2017	2749
<b>145</b>	Norte	Simples	02/05/2017	08/05/2017	1684
<b>284</b>	Sul	Simples	09/05/2017	15/05/2017	2478
<b>422</b>	Sul	Simples	17/05/2017	23/05/2017	3170
<b>422</b>	Norte	Simples	17/05/2017	23/05/2017	3803
<b>554</b>	Sul	Dupla	24/05/2017	30/05/2017	3812
<b>607</b>	Sul	Dupla	04/06/2017	09/06/2017	3812
<b>607</b>	Norte	Dupla	10/06/2017	13/06/2017	3812
<b>767</b>	Sul	Dupla	04/06/2017	10/06/2017	1708

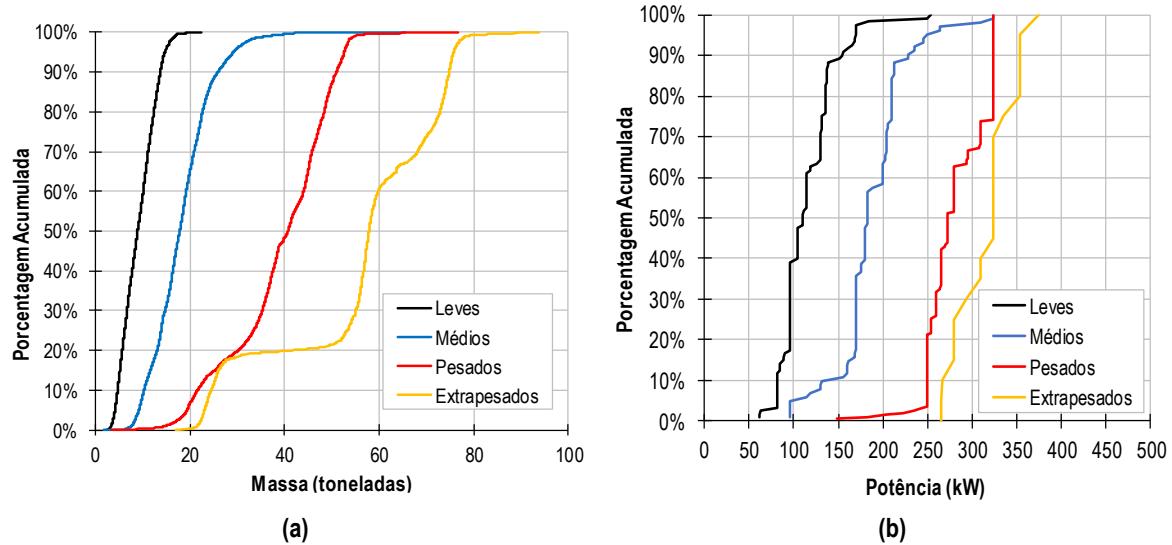
A amostra é constituída de 30.839 caminhões, os quais estavam divididos em categorias de acordo com o número de eixos. Os dados da potência dos modelos de caminhões foram obtidos no km 554, em frente a um ponto da Polícia Rodoviária Federal, um dos pontos onde a balança móvel foi utilizada para pesagem dos veículos, escolha feita por ser um dos pontos com maior tráfego veicular. Foram coletados dados de marca e de modelo de 450 caminhões e, com esses, foram obtidas as potências através de *websites* dos fabricantes de cada tipo de veículo.

Foram obtidas distribuições de massa, potência e massa/potência agrupados em quatro categorias: leves, médios, pesados e extrapesados, como realizado no trabalho de Cunha *et al.* (2005). A ideia foi de não organizar os veículos em muitas categorias, haja vista que alguns simuladores, como o CORSIM (McTrans, 2010), apenas modela quatro tipos de veículos. No VISSIM, é possível caracterizar mais de quatro categorias, mas como não há um consenso sobre quantas categorias veiculares é o ideal, resolveu-se fazer simulações usando-se essas quatro categorias. Na Tabela 9.2, também é possível verificar os valores de massa e potência média dos caminhões da amostra, agrupados de acordo com as quatro classes definidas de caminhões. Na Figura 9.3, apresentam-se as distribuições acumuladas de massa e potência (que podem ser inseridas no VISSIM) para cada uma das classes veiculares.

Tabela 9.24: Classes de caminhões sugeridas

Classe	Eixos	Caminhões	Média		
			Massa kg	Potência kW	cv
Leves	2	2C	9113	116	158
Médios	3 e 4	3C, 2S1, 2S2, 2C2, 2I2, 3S1, 4C, 4CD, 4DT e 2C3	18414	196	266
Pesados	5 e 6	2S3, 2I3, 3S3, 2I1, 3C2, I2, 3S2, 2R4, 3C3, 3D3L, 3I1, 3I3, 3S3 e 4R2	37615	283	385
Extrapesados	7 ou mais	3T4, 3D4, 3Q4 e 4R3	58792	322	438

Figura 9.11: Distribuições acumuladas de massa (a) e potência (b) por classe sugerida



As distribuições de aceleração máxima e desejada foram estimadas com base no TruPer (Demarchi, 2000). O TruPer é uma macro, criada em Visual Basic 5.0, utilizada para simular o desempenho de um veículo isolado em uma via, englobando vários aspectos dessa interação. Por meio dessa ferramenta, é possível obter a velocidade e a distância em um intervalo de tempo específico, o que permite a elaboração de diferentes curvas e análises, como a curva de aceleração ao longo de um deslocamento.

Portanto, o método de obtenção das curvas de aceleração máxima consistiu em simular, no TruPer, um veículo tipo de cada uma das classes veiculares numa rampa (ascendente ou descendente), de 5 km, com velocidade inicial de 0 km/h e velocidade limite de 110 km/h. As

rampas variaram, em módulo, de 0% a 8%. Para cada classe veicular, foram utilizados os 85º percentis das distribuições acumuladas da relação massa/potência (RMP) e da massa (M), tendo sido calculada a potência (P) a partir desses dois valores, tendo, como resultado:

- Leves: RMP = 112 kg/kW; M = 13.200 kg; e P = 118 kW;
- Médios: RMP = 122 kg/kW; M = 23.900 kg; e P = 196 kW;
- Pesados: RMP = 175 kg/kW; M = 49.500 kg; e P = 283 kW; e
- Extrapesados: RMP = 230 kg/kW; M = 73.900 kg; e P = 321 kW.

As distribuições de aceleração possuem valores máximo, mínimo e mediana para velocidades específicas, como mostra a Figura 9.4. Foram definidas 11 classes de velocidade, de 0 a 110 km/h. Para a primeira classe, foram analisadas as acelerações com velocidades de 0 a 5 km/h (ponto médio igual a 0 km/h); 5 a 15 km/h (ponto médio da classe igual a 10 km/h), e assim por diante, sendo a última classe definida com velocidades entre 105 e 110 km/h (ponto médio da classe igual a 110 km/h). O valor mínimo consiste na média menos dois desvios padrões, enquanto os valores máximos foram obtidos da média mais dois desvios padrões, para cada intervalo de velocidades supracitado.

A Figura 9.4 mostra as distribuições de acelerações máximas para as quatro classes de caminhões. A Figura 9.5 mostra os resultados para as acelerações desejadas, que foram definidas de acordo com a proporção entre as distribuições de acelerações máxima e desejada do veículo *default* do VISSIM.

Figura 9.12: Distribuições de aceleração máxima obtidas para os caminhões leves (a), médios (b), pesados (c) e extrapesados (d)

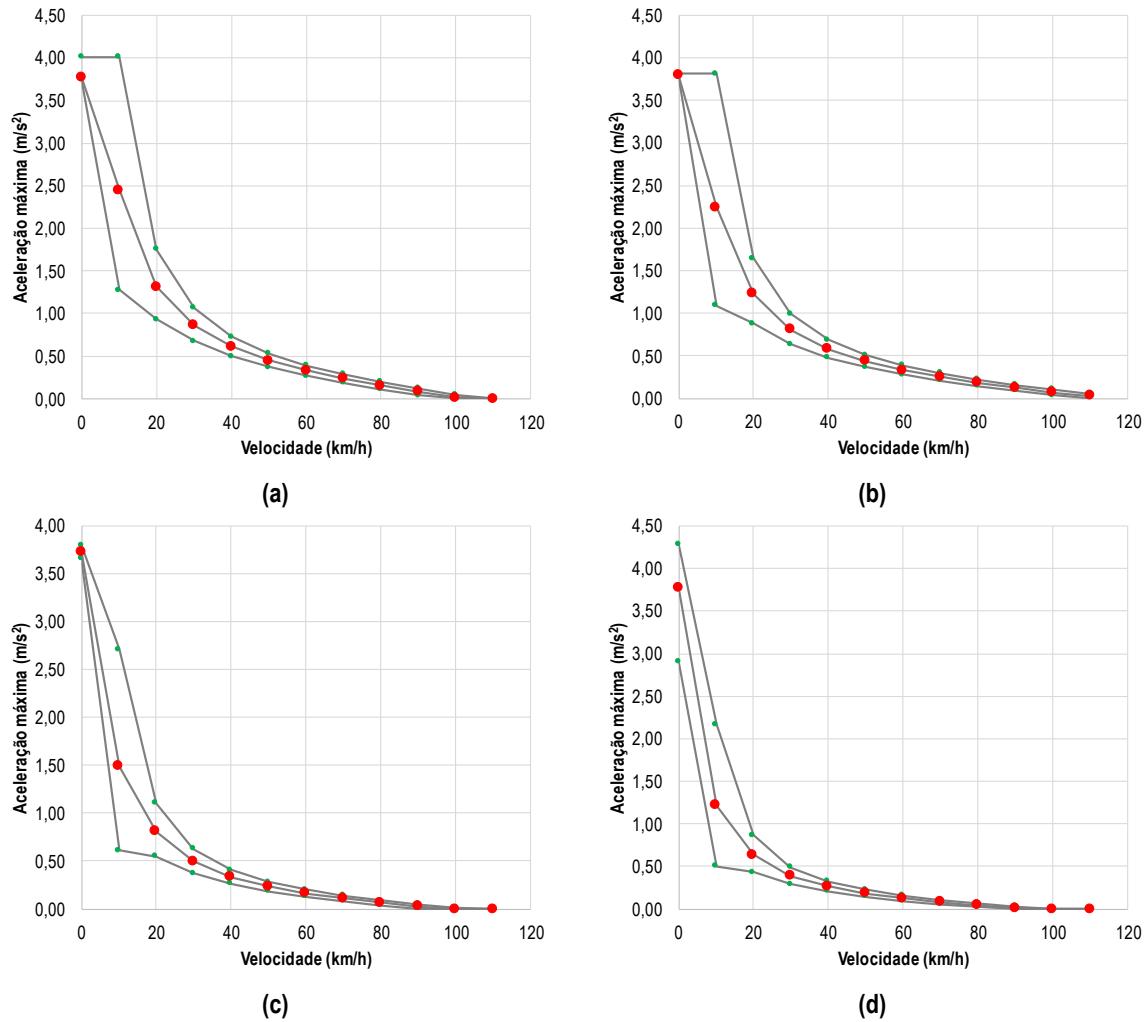
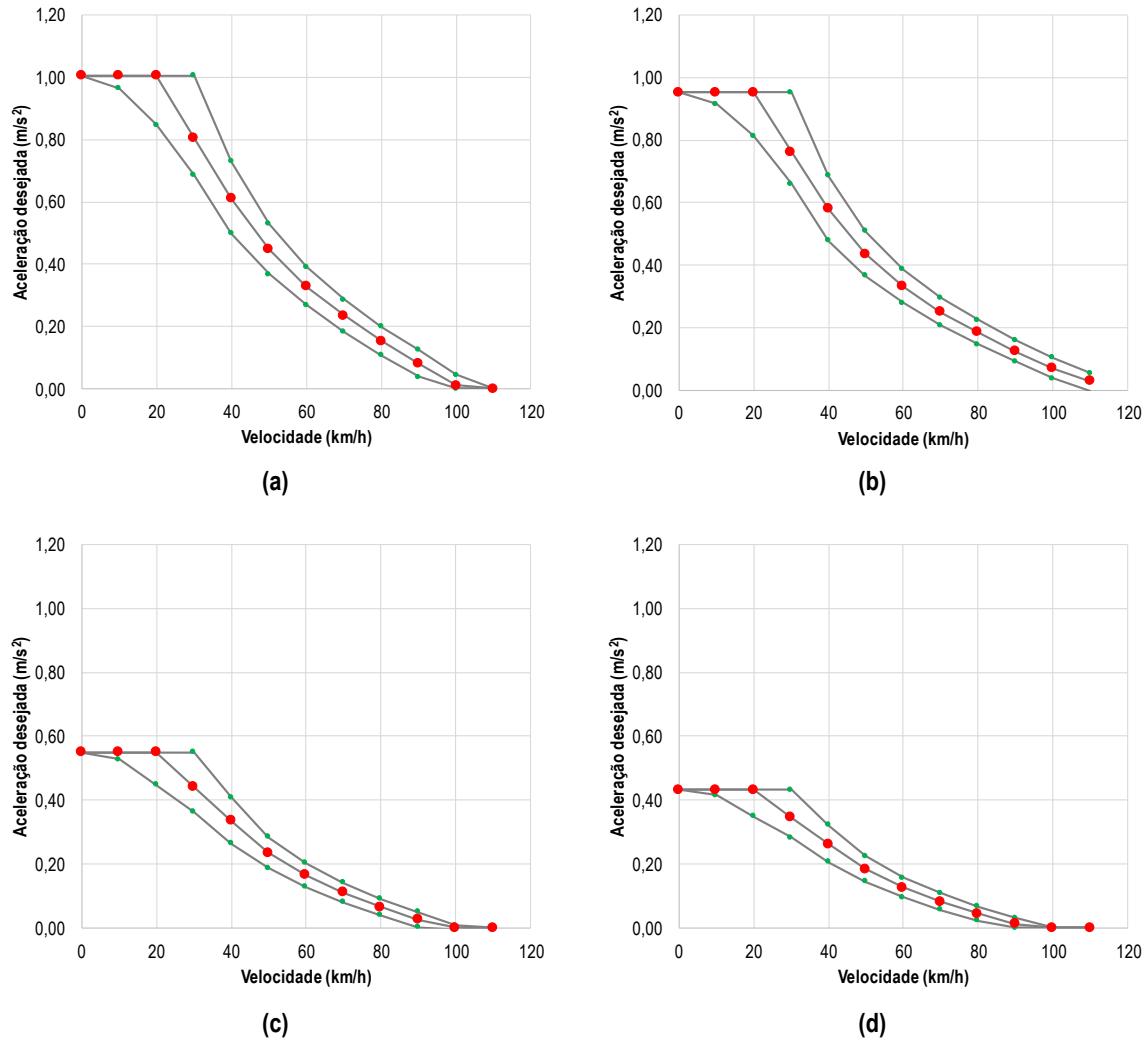


Figura 9.13: Distribuições de aceleração desejada obtidas para os caminhões leves (a), médios (b), pesados (c) e extrapesados (d)



## 10. CRITÉRIOS PARA DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE SERVIÇO

Foi estabelecido um critério de determinação do Nível de Serviço de pistas simples a partir de  $FD_d$ , da forma como proposto por Washburn *et al.* (2018) para o HCM 6. O método consiste em determinar os volumes de serviço – ou seja, aqueles volumes que determinam a mudança do nível de serviço – partindo-se do Modelo Base e em condições bem favoráveis ( $COG = 1$  e  $P_{hv} = 0\%$ ) para o método do HCM 6. Com esses volumes de serviço, determina-se os valores de  $FD_d$  correspondentes ao Modelo Base, com  $COG = 1$  e  $P_{hv} = 0\%$ , para a proposta deste trabalho. Os valores de  $FD_d$  encontrados determinam os intervalos dos diferentes níveis de serviço. Na Tabela 10.1, é possível encontrar os critérios obtidos para os modelos propostos nesta pesquisa (linear e quadrático), além dos critérios de Bessa Jr. (2015) e do HCM 6.

Tabela 10.1: Comparativo dos critérios de obtenção de nível de serviço em função de  $FD$

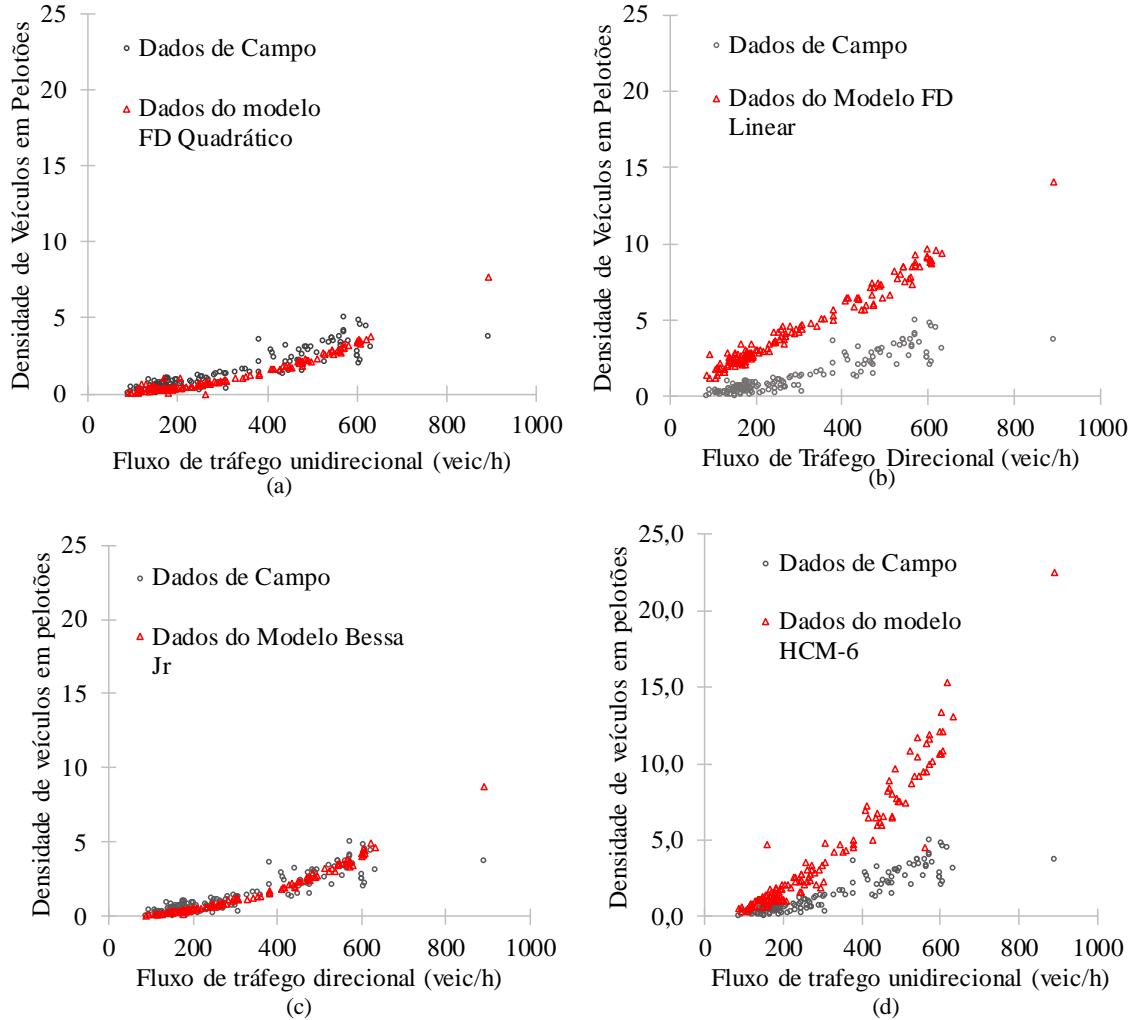
Nível de Serviço	<i>HCM 6</i>				
	$FD_d$ Linear	$FD_d$ Quadrático	$FD$ Bessa Jr	Rodovias $v \geq 80$ km/h	Rodovias $v \leq 80$ km/h
A	$\leq 2,9$	$\leq 1,2$	$\leq 2$	$\leq 3,2$	$\leq 4$
B	$>2,9 - 4,7$	$>1,2 - 2,7$	$>2 - 4$	$>3,2 - 6,4$	$>4 - 8$
C	$>4,7 - 9,4$	$>2,7 - 4,7$	$>4 - 6$	$>6,4 - 12,8$	$>8 - 16$
D	$>9,4 - 11,8$	$>4,7 - 7,4$	$>6 - 14$	$>12,8 - 19,2$	$>16 - 24$
E	$> 11,8$	$>7,4$	$>14$	$>19,2$	$>24$

O HCM 6 (Washburn *et al.*, 2018) classifica, como demonstrado, as rodovias em duas categorias em função da velocidade, pois foi identificado que em rodovias com velocidades menores o percentual de veículos em pelotão não é reduzido de forma proporcional à redução da velocidade, necessitando de um critério de classes mais abrangente para equacionar essa diferença. Como nesta pesquisa os dados foram obtidos em uma rodovia de velocidade considerada alta, a avaliação considera apenas a classificação do HCM 6 para rodovias com velocidade maior que 80 km/h.

Para comparar cada um dos critérios, foram calculadas  $FD_d$  e os níveis de serviços de metade das correntes de tráfego obtidas em campo, com as correntes de tráfego destacadas para validação dos modelos. Além dos modelos do HCM-6 e de Bessa Jr. (2015), os resultados de nível de serviço do HCM 2010 também foram calculados. Os resultados da  $FD_d$  dos modelos foram comparados com a  $FD_d$  obtida diretamente do campo (para obter a *PTSF* do campo, foi usada a *PF* como *proxy*). Conforme demonstrado na Figura 10.1, os modelos de  $FD_d$  quadrático

e de Bessa Jr. (2015) apresentaram maior proximidade com os resultados de campo do que os modelos linear e do HCM 6.

Figura 10.1: Medidas de desempenho obtidas em campo e obtidas dos modelos para parte dos dados de validação: (a)  $FD_d$  Modelo Quadrático; (b)  $FD_d$  Modelo Linear; (b)  $FD_d$  Modelo Bessa Jr.; e (b)  $FD_d$  Modelo HCM 6



Para verificar a qualidade da estimativa dos modelos, foram calculadas quatro funções de ajustamento (*goodness-of-fit functions*) entre os resultados de  $FD_d$  obtidos de cada modelo e obtidos em campo: i) Erro normalizado médio (*MNE*) (Equação 10.1); (ii) Erro normalizado absoluto médio (*MANE*) (Equação 10.2); (iii) Raiz quadrada do erro normalizado quadrático médio (*RMSNE*) (Equação 10.3); e (iv) Coeficiente de correlação (*r*) (Equação 10.4). A Tabela 10.2 apresenta os resultados.

$$MNE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{x_i - y_i}{y_i}, \quad (10.1)$$

$$MANE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|x_i - y_i|}{y_i}, \quad (10.2)$$

$$RMSNE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{x_i - y_i}{y_i} \right)^2}, \quad (10.3)$$

$$r = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma_x \sigma_y}, \quad (10.4)$$

Em que,  $N$  é o número de correntes de tráfego observada,  $x$  é a medida de desempenho obtida pela simulação e  $y$  é a medida de desempenho obtida diretamente do campo.

Tabela 10.2: Funções Fitness para cada modelo de  $FD_d$

Modelo da $FD_d$	Função Fitness			
	MNE	MANE	RMSNE	r
Modelo Quadrático	-5,6%	50,28%	0,77	0,87
Modelo Linear	426,57%	426,57%	6,30	0,78
Bessa Jr. (2015)	0,9%	40,79%	0,56	0,87
HCM-6	239,4%	239,5%	3,20	0,78

Os modelos Quadrático e de Bessa Jr. (2015) apresentaram bons resultados para o coeficiente de correlação  $r$  e para as funções  $MANE$  e  $RMSNE$ . Os outros dois modelos apresentaram resultados ruins para o  $MNE$ ,  $MANE$  e  $RMSNE$ , reforçando a ideia de que os modelos não se mostraram adequados nesta pesquisa.

Após o cálculo da  $FD_d$ , foram obtidos os níveis de serviços dos fluxos de validação e dos resultados de campo considerando cada uma das classificações propostas. A Tabela 10.3 demonstra o resultado da  $FD_d$  dos modelos, enquanto a Tabela 10.4 apresenta o nível de serviços da  $FD_d$  do campo, de acordo com o critério de cada um dos modelos.

Tabela 10.3: Porcentagem de cada nível de serviço de acordo com o método

<i>Nível de Serviço</i>	$FD_d$ Linear	$FD_d$ Quadrático	$FD$ Bessa Jr	HCM 6	HCM 2010
A	39,6%	66,7%	71,5%	61,8%	50,7%
B	24,3%	18,8%	21,5%	13,2%	37,7%
C	33,3%	13,9%	6,3%	22,9%	9,6%
D	2,1%	0,0%	0,7%	2,1%	2,1%
E	0,7	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabela 10.4: Porcentagem de cada nível de serviço de acordo com o critério de cada modelo -  $FD_d$  do campo

<i>Nível de Serviço</i>	$FD_d$ Linear	$FD_d$ Quadrático	$FD$ Bessa Jr	HCM 6
A	84,0%	60,4%	70,1%	87,5%
B	14,6%	20,8%	25,7%	12,5%
C	1,4%	17,4%	4,2%	0,0%
D	0,0%	1,4%	0,0%	0,0%
E	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Esses resultados demonstram que os modelos quadrático e de Bessa Jr. (2015) se mostraram mais aderentes aos resultados de campo obtidos das correntes de tráfego de validação. Além disso, os modelos apresentaram critérios de nível de serviço bastante próximos para a  $FD_d$  calculada pelos modelos com a  $FD_d$  de campo, especialmente o modelo de Bessa Jr. (2015) para o nível A e os critérios propostos por esta pesquisa (modelo quadrático) foram mais próximos no nível de serviço B. Por outro lado, tanto os critérios do modelo linear como do HCM 6 e do HCM 2010 parecem subestimar o nível de serviço de campo. Esse resultado demonstra que, se utilizar o HCM (2010 ou a nova proposta do manual) sem nenhum tipo de adaptação, o que é comum, os níveis de serviço obtidos tendem a ser piores do que, de fato, são, pelo menos para os casos estudados neste trabalho.

## **11. CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E PRODUTOS**

### **11.1. Conclusões e recomendações**

Esta pesquisa teve, como objetivo principal, obter um método adequado para calcular o nível de serviço em rodovias de pista simples, tendo, como base, os dados de trechos de rodovias de pista simples sob concessão da Via040. Para atingir a meta da pesquisa, foi obtido um conjunto de dados em segmentos de rodovias de pista simples na BR-040 com diferentes condições geométricas e de tráfego. O intuito foi usar essas informações para calibrar e validar o simulador de tráfego escolhido, o VISSIM, que, por sua vez, foi utilizado para produzir modelos de tráfego, com e sem zonas de ultrapassagens proibidas e faixas adicionais.

A geometria viária foi tratada por meio de cinco classes do alinhamento vertical, denominados de COG's. Então, foram gerados segmentos viários hipotéticos e gerados dados de tráfego sintéticos, utilizados para ajustar modelos de tráfego. Os resultados dessa análise indicaram que dois modelos quadráticos entre fluxo unidirecional e *FD* – propostos neste trabalho e de Bessa Jr. (2015) – produziram valores de nível de serviço e de *FD* mais aderentes ao que foram observados em campo. A utilização do HCM, tanto para a versão de 2010 quanto para a provável nova proposta que será publicada em 2019 – sem nenhuma adaptação – tende a subestimar o nível de serviço em rodovias brasileiras, o que provocaria investimentos antes do momento adequado.

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos com o uso de drone e pelo método das placas. O conjunto de dados obtido possui correntes de tráfego com volumes de tráfego considerados baixos, sendo recomendável coletar, futuramente, correntes de tráfego com fluxos mais elevados, para aumentar a confiabilidade das análises. Cabe, também, obter dados em condições geométricas distintas das utilizadas nesta pesquisa, para comparar novamente os modelos de tráfego analisados. Também seria interessante obter mais informações em rodovias diferentes, que não sejam especificamente a BR-040.

Além disso, é recomendável que sejam obtidos um conjunto de dados específicos para o comportamento dos condutores em curvas horizontais e, então, verificar o impacto na densidade

de veículos em pelotões, haja vista que, neste trabalho, foi obtido um conjunto pequeno de informações nessas condições.

A calibração foi realizada com base em um Algoritmo Genético (AG), mas somente após estimar outros parâmetros fundamentais do simulador, como aqueles ligados à distribuição de velocidades desejadas e ao desempenho de veículos pesados. Com o simulador calibrado, foram gerados dados de tráfego em segmentos viários hipotéticos, com uma ampla gama de características geométricas e de tráfego.

As distribuições de velocidades desejadas dos veículos são de fundamental importância para simulação no VISSIM. Os dados de velocidades obtidos nesta pesquisa foram pontuais, sem que os veículos fossem acompanhados durante todo o percurso, não sendo, portanto, capaz de representar bem a velocidade desejada dos motoristas ao longo da viagem. Assim, é recomendável obter dados de velocidade de veículos que estejam livres ao longo de um percurso, proporcionando melhores estimativas das distribuições de velocidades desejadas.

É recomendável, ainda, ampliar as informações sobre os veículos pesados, em especial o comportamento desses veículos em curvas horizontais e, também, a respeito da velocidade desejada por categoria de veículo pesado, pois o VISSIM permite que sejam atribuídas velocidades desejadas específicas para cada tipo de veículo. Sugere-se, também, que, nas próximas pesquisas, seja obtida uma gama maior de dados diretamente do campo com o intuito de estimar mais parâmetros comportamentais do simulador, buscando não haver necessidade de usar uma heurística de busca e otimização, como um AG.

Foram gerados dois modelos de tráfego unidirecionais entre o fluxo de tráfego e a densidade de veículos em pelotões, sendo um linear e outro quadrático. O modelo base, em que não há zonas de ultrapassagens proibidas e faixas adicionais, foi utilizado para verificar a influência das faixas adicionais e das zonas de ultrapassagens proibidas na *FD*.

As faixas adicionais de subida foram implantadas nos modelos hipotéticos em segmentos com rampa ascendente maior ou igual a 2% de inclinação e comprimento igual ou maior a 500 m. Para trechos com COG = 1, nenhum segmento hipotético apresentou essas características. As faixas adicionais de subida demonstraram pouco impacto em condições de COG = 2 e de COG

= 3, ainda que o percentual de veículos pesados no segmento seja elevado. Os fluxos foram baixos e é desejável testar os modelos de faixa adicional para os COG = 2 e COG = 3 em condições de tráfego mais elevados, pois, com fluxos baixos, são maiores as oportunidades de ultrapassagem durante todo o segmento, o que pode mascarar o benefício da faixa adicional para essas categorias de alinhamento vertical.

A partir do COG = 4, fica evidente o benefício das faixas adicionais na redução da densidade de veículos em pelotões. Dessa forma, sugere-se que análises de custo-benefício da implantação de faixas adicionais sejam conduzidas nesses tipos de segmentos, determinando também o comprimento ótimo das faixas adicionais por COG.

Com relação ao impacto das zonas de ultrapassagens proibidas, foi mais evidente para condições de geometria viária mais desfavorável ( $COG > 3$  e  $NPZ > 50\%$ ). Por outro lado, em casos em que as condições geométricas são boas ( $COG = 1$ ,  $P_{hv} = 0\%$  e  $FFS = 110$  km/h), o impacto na qualidade de circulação da rodovia devido à proibição de ultrapassagens é pequeno. Os resultados de  $NPZ = 0\%$ ,  $NPZ = 50\%$  e  $NPZ = 100\%$  foram semelhantes.

Para  $COG = 2$  e  $COG = 3$ , quando  $NPZ = 100\%$ , a  $FD$  é muito maior que no modelo base, que, por sua vez, é semelhante para a condição de 50% de NPZ. Para  $COG = 4$  e  $COG = 5$ , a  $FD$  com  $NPZ = 50\%$  foi maior que a do modelo base e menor que do cenário com 100% de NPZ. É desejável que esse modelo seja testado com uma gama maior de dados de tráfego e de características geométricas.

Considerando-se a quantidade de fatores de ajustes e a complexidade para obtenção da densidade de veículos em pelotões propostos pelo HCM 6, uma alternativa, também, seria adaptar o novo método para condições de rodovias brasileiras, mantendo-se a estrutura do manual.

Dentre os modelos de densidade de veículos em pelotões desenvolvidos e avaliados nesta pesquisa, destaca-se o modelo quadrático e o de Bessa Jr. (2015) como mais aderentes aos resultados obtidos em campo. Entretanto, é importante que o modelo quadrático seja avaliado com volumes de tráfegos maiores, pois não foram coletadas correntes de tráfego unidirecionais acima de 1000 veic/h, sendo que quase a totalidade dos dados foi inferior a 600 veic/h.

Principalmente para que se possa estabelecer critérios de definição de níveis de serviço com base em  $FD_d$ , não foi considerada a percepção dos usuários. O motivo é a complexidade e os custos elevados para se conduzir uma pesquisa abrangente o suficiente para capturar e modelar as impressões dos usuários. Assim, recomenda-se que esse tipo de pesquisa possa ser conduzido futuramente.

## **11.2. Objetivos alcançados e parcialmente alcançados**

No Plano de Trabalho do projeto, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

5. Obter um conjunto de dados de tráfego representativo de diversas condições operacionais de trechos de rodovias de pista simples;
6. Selecionar um simulador de tráfego para rodovias de pista simples que forneça as informações necessárias para subsidiar o desenvolvimento do método e obter uma versão recalibrada capaz de reproduzir a operação dos trechos estudados com um grau de fidelidade adequado;
7. Estudar as relações entre o fluxo de tráfego e as medidas de desempenho que caracterizem o comportamento das rodovias de pista simples brasileiras; e
8. Estudar o efeito sobre a qualidade de serviço de características da via, como as faixas adicionais e as zonas de ultrapassagens proibidas.

Para atingir esses objetivos, foram propostas as seguintes etapas metodológicas no Plano de Trabalho do projeto:

9. Revisão da literatura;
10. Coleta e tratamento dos dados de tráfego;
11. Avaliação, escolha e aprendizado do modelo de simulação;
12. Calibração e validação do modelo de simulação adotado;
13. Realização dos experimentos de simulação para determinação das relações fundamentais do tráfego;
14. Realização dos experimentos de simulação para determinação das relações ou dos fatores de ajuste relacionados com as faixas adicionais e as zonas de ultrapassagens proibidas;

15. Determinação de parâmetros de projeto;
16. Determinação de critérios para determinação no nível de serviço a partir das medidas de desempenho propostas.

Todos os objetivos específicos foram alcançados, conforme relatado na seção 11.1 e ao longo do relatório, todos com potencial de utilização por parte da concessionária e a quem mais interessar:

- Foi obtido um conjunto de dados de tráfego de tamanho importante (cerca de 180 correntes de tráfego de 15 minutos, além de registros com drone, GPS, de balanças móveis e de potência veicular);
- Foi obtida uma versão calibrada e validada do simulador de tráfego VISSIM, tanto o modelo de desempenho veicular (de quatro categoria de veículos pesados), quanto as distribuições de velocidades desejadas e os parâmetros comportamentais relevantes para modelagem de rodovias de pista simples;
- Foram obtidas relações de tráfego entre o fluxo de tráfego unidirecional e a medida de desempenho que é mais apropriada para obter o nível de serviço em rodovias de pista simples, a densidade de veículos em pelotões; isso foi feito tanto para condições sem faixas adicionais e com 100% de zonas de ultrapassagens permitidas, quando para segmentos com faixas adicionais e com a presença de zonas de ultrapassagens proibidas.

Por outro lado, das oito etapas metodológicas previstas e supracitadas, seis (etapas de 1 a 6) foram totalmente realizadas, enquanto que outros dois (etapas 7 e 8) foram parcialmente desenvolvidas, pelas seguintes razões:

- Na Etapa 7, denominada “Determinação de parâmetros de projeto”, o objetivo central era a modelagem de segmentos de rodovias de pista simples no VISSIM; para isso, era necessário encontrar caminhões típicos da BR-040, o que foi feito, com sucesso, para quatro categorias veiculares (leves, médios, pesados e extrapesados) e, portanto, foi importante para a execução das demais etapas do projeto;
- No Plano de Trabalho, para essa Etapa 7, estava previsto estudar valores típicos para o Fator K, variável que, por definição, para a hora de projeto, o percentual do volume horário em relação ao Volume Médio Diário Anual de uma determinada rodovia; esse

- fator K, se calculado para a BR-040, representaria a realidade apenas para essa rodovia, pois depende da demanda atual, não podendo ser extrapolado para outros locais; além disso, não contribui para atingir o objetivo geral da pesquisa, havendo mais sentido obter o fator K para aplicação do método proposto neste estudo (portanto, *a posteriori*);
- Outra questão que foi planejada para ser tratada na Etapa 7 é volume de gatilho que determinaria obras de melhoramento numa rodovia de pista simples; assim como o item anterior, essa questão acabou não sendo relevante para se atingir o objetivo geral da pesquisa, além de ter se mostrado uma questão que foge do escopo e demanda um tempo muito maior de análise do que se tinha (de 18 meses); vale ressaltar, ainda, que essa avaliação tem que ser confrontada com questões como análises de custo-benefício, o que leva a crer que, embora correlacionada com o projeto desenvolvido, na verdade é uma questão que surge como uma recomendação para trabalhos futuros, a fim de que, de fato, ela seja melhor analisada.
  - A Etapa 8, de definição de critérios para obtenção do nível de serviço, foi realizada, mas não levando-se em conta a opinião do usuário, como planejado; outras etapas acabaram demandando bem mais atenção, o que indica que, assim como no item anterior, o prazo se mostrou exíguo e o assunto seria melhor tratado em uma pesquisa futura.

### **11.3. Produtos do projeto e proposta de transferência de conhecimento**

As pesquisas que envolvem a obtenção de novas técnicas de determinação do nível de serviço em rodovias são praticamente inexistentes no Brasil. Os principais estudos nessa área são voltados para rodovias de pista simples, mas ainda com importantes lacunas a serem resolvidas. Embora esta proposta não tenha a intenção de ser suficiente para criação de um método de cálculo do nível de serviço em rodovias de pista simples que, efetivamente, possam ser preconizados por agências reguladores e utilizados pelos órgãos gerenciadores (públicos ou privados), espera-se que ele contribua como forte subsídio nesse sentido.

Há estudos (Utimura et al., 2007; Pereira e Bessa Jr., 2017) que indicam que o método do HCM tende a subestimar o nível de serviço das rodovias brasileiras. Embora haja indubitável valor na proposta do HCM, acredita-se que a melhor solução seja a proposição de um método próprio que leva em consideração os dados brasileiros. Esse método pode ser diferente da estrutura

apresentada pelo HCM assim como também é possível usar parte da proposta do manual americano, desde que, comprovadamente, seja a melhor escolha no sentido de representar bem as condições das estradas brasileiras.

Como produtos obtidos com o projeto, destaca-se:

- Uma versão do simulador VISSIM calibrada e validada para modelagem de rodovias de pista simples (realizada com dados da BR-040, e que, portanto, tendem a representar as características observadas nessa rodovia);
- Um método para obter o nível de serviço em rodovias de pista simples com base na densidade de veículos em pelotões, que deve ser a nova medida de serviço adotada pelo HCM para avaliar esse tipo de rodovia; como demonstrado no Capítulo 10 deste relatório, o uso do HCM, sem adaptações, tende a subestimar o nível de serviço, o que faria com que obras de melhoramento, em algumas situações, fossem realizadas antes do momento adequado, um problema que seria minimizado caso fossem adotados métodos como o proposto neste relatório;
- Dois artigos publicados no Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes (ANPET), incluídos neste relatório como Anexo; vale ressaltar que um artigo para a revista Transportes acabou de ser submetido (está em fase de análise e, se aprovado, irá ser publicado, provavelmente em 2020), enquanto outro está sendo desenvolvido, em inglês, para submissão ao corpo editorial de algum periódico especializado internacional.

O Coordenador deste Projeto RDT, bem como sua equipe executora, se compromete a realizar treinamentos para a ANTT e para outros setores da sociedade acerca dos resultados e produtos obtidos neste relatório, com condições e formatos que poderiam ser acordados futuramente em caso de interesse (como manuais, cursos, etc.).

#### **11.4. Capacitação técnica da equipe envolvida**

Buscou-se, com este projeto de pesquisa, também contribuir, substancialmente, para a capacitação técnica dos envolvidos. A equipe envolvida no projeto foi composta por duas estagiárias –alunas de graduação do curso de Engenharia de Transportes do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). O projeto contribuiu para a formação

acadêmica delas, tanto por meio da elaboração de trabalhos técnicos-científicos e relatórios, como na experiência em campo com as coletas de dados e na utilização de simuladores de tráfego, complementando a formação de sala de aula. As estagiárias são: Anáiram Lima Costa e Carolina Moreira de Lima.

Por se tratar de um assunto de vanguarda, o projeto também contribuiu para a formação tanto dos técnicos seniores – os engenheiros da Via040, Aline Ferreira Andalício e Diego Milli da Costa Velho, como do próprio coordenador, Prof. José Elievam Bessa Júnior, da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Com relação aos primeiros, a obtenção de métodos alternativos de cálculo do nível de serviço deverá fazer com que o conhecimento adquirido seja disseminado dentro da própria Concessionária Via040 (ou de outras concessionárias do grupo empresarial que detém a concessão). Com relação ao segundo, é fato que qualquer projeto de pesquisa promoveu um avanço na forma como o coordenador encara os problemas relacionados com nível de serviço e capacidade de rodovias.

A equipe executora, durante a execução do projeto, participou, como relatado, de dois cursos de formação (simulador de tráfego e drone. Além disso, boa parte da equipe participou do 32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ocorrido em Gramado-RS em novembro de 2018, cuja programação pode ser encontrada em: <http://www.anpet.org.br/32anpet/index.php/pt/programacao>. A equipe participou de várias atividades no evento, como na apresentação de um trabalho científico e no Painel denominado “Utilização de Recursos de Desenvolvimento Tecnológico dos Contrados de Concessões”, com a participação das funcionárias da ANTT Mirian Quebub e Marisa Tiefense.

O projeto contou, ainda, com a contribuição valiosa de um aluno do Mestrado em Geotecnia e Transportes da UFMG, Frederico Amaral e Silva. O aluno contribui em todas as fases do projeto, desde a revisão da literatura e modelagem das rodovias no VISSIM, até a geração de modelos de tráfego. Como contrapartida, os resultados obtidos do projeto RDT serviram para o desenvolvimento de seu Mestrado, com defesa de dissertação realizada em junho de 2019. O trabalho pode ser encontrado no seguinte link: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/30497/1/Determina%a3%a7%a3%a3o%20do%20impacto%20de%20zonas%20de%20ultrapassagens%20proibi das%20e%20de%20faixas%20adicionais%20de%20subida%20em%20segmentos%20de%20rodovias%20de%20pista%20simples.pdf>

## 12. REFERÊNCIAS

AASHTO (2001) *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, 2001.

ABCR. *Relatório Anual*. Associação brasileira de concessionárias de rodovias, São Paulo, 2016

ALAIX, V. G.V.; e GARCÍA, A. – *Climbing Lane Level of Service Estimation in Spain*, XII Conference on Transportation Engeneering, CIT 2016, 7-9 Junho, Valênciia, Espanha, 2016.

AL-KAISY, A.; JAFARI, A.; WASHBURN, S.. *Measuring Performance on Two-Lane Highways – Empirical Investigation*. Transportation Researcu Record: Journal of the Transportation Research Board. 2017

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial – RBAC –E nº 94, 2017.

BALUJA, S; *Population-Based Incremental Learning: A Method for Integrating Genetic Search Based Function Optimization and Competitive Learning*. Techinal Report nº CMU-CS-94-163. Carnegie Mellon University. 1994.

BARMPOUNAKIS, E, N.; VLAHOGIANNI, E. I.; GOLIAS, J. C.;BABINEC, A.. *How accurate are small drones for measuring microscopic traffic parameters?*. *Transportation Letters*, v., n. pp., 2017

BEAN, J; *Genetic algorithms and random keys for sequencing and optimization*. ORSA Journal of Computing 6(2), 154-160. 1994.

BESSA JR., J. E. *Caracterização do fluxo de tráfego em rodovias de pista simples do Estado de São Paulo*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2009. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18144/tde-04122009-150455/pt-br.php>>.

Consulta em 01/08/2017.

BESSA JR., J. E.; *Medidas de desempenho para avaliação da qualidade de serviço em rodovias de pista simples no Brasil*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2015.

BESSA JR, J. E.; SETTI, J. R.; *Evaluating Measures of Effectiveness for Quality of Service Estimation on Two-Lane Rural Highways*. Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, v. 144, p. 04018056, 2018.

BESSA JR, J. E.; SETTI, J. R; WASHBURN, S. S.; *Evaluation of Models to Estimate Percent Time Spent Following on Two-Lane Highways*. Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, v. 143, p. 04017010, 2017.

BESSA JR., J. E.; Setti, J. R. *Derivation of ATS and PTSF Functions for two-lane, rural highways in Brazil*. Procedia Social and Behavioral Sciences, v. 16, p. 282–292, 2011.

BESSA JÚNIOR, J. E.; SETTI, J. R. *Avaliação de medidas de desempenho para rodovias de pista simples obtidas a partir de relações fluxo-velocidade*. Transportes, v. 24, p. 72-80, 2016.

BOORA, A.; GHOSH, I. Performance Indicator for Two-Lane Intercity Highways under Heterogeneous Traffic Condition. Available. IN 19th EURO Working Group on Transportation Meeting, 5-7 September 2016, Istanbul, Turkey.

BRILON, W.; E WEISER, F. *Two-lane rural highways: the German experience*. Transportation Research Record 1988, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 38-47. 2006.

CALIPER; *Transmodeler Traffic Simulation Software Brochure*. Massachussets, EUA, 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES, *Anuário CNT do Transporte*, 2017.

COWAN, R.J.; *A road with no overtaking*. Australian Journal of Statistics. 1971.

CHIAPPONE, S.; GIUFFRÈ, O.; A. GRANNÀ; MAURO, R.; SFERLAZZA, A. R.; *Traffic simulation models calibration using speed-density relationship: An automated procedure based on genetic algorithm*. Expert Systems with Applications, v. 44, p. 147-155. 2016

CUNHA, A. L. B. N; *Sistema automático para obtenção de parâmetros do tráfego veicular a partir de imagens de vídeo usando OpenCV*. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2013.

CUNHA, A. L. B. N.; BESSA JR, J. E. e SETT, J. R.. *Genetic Algorithm for the Calibration of Vehicle Performance Models of Microscopic Traffic Simulators*. Fourteenth Portuguese Conference on Artificial Intelligence. LNAI Proceedings., v. 5816. p. 3-14, Springer, 2009.

CUNHA, A. L. B. N.; MON-MA, M. L.; ARAÚJO, J. J.; EGAMI, C. Y. e SETTI, J. R.; *Caracterização da frota de caminhões no sistema Anhanguera - Bandeirantes*. XIX ANPET Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Recife-PE, 2005.

CUNHA, A. L. B. N. ; SETTI, J. R.; *Truck Equivalence Factors for Divided, Multilane Highways in Brazil*. Procedia: Social and Behavioral Sciences, v. 16, p. 248-258, 2011.

DEMARCHI, S. H. *TruPer Simulador de Desempenho de Veículos Rodoviários e Ferroviários*. 30 f. Arquivo de Help. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, 2000.

DEMARCHI, S. H. e SETTI, J. R. (2003) *Limitations of passenger-car equivalent derivation for traffic streams with more than one truck type*. Transportation Research Record 1852, Washington, DC, EUA, p. 96-104, 2003.

DEPARTAMENTO DE EDIFICAÇÕES E ESTRADAS DE RODAGEM DE MINAS GERAIS (DEER-MG). Informativo sobre as condições da malha rodoviária de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.deer.mg.gov.br/transportes/rodovias#malha-do-estado>> Consulta em: 14/06/2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRURA DE TRANSPORTES. Terminologias Rodoviárias Usualmente Utilizadas. Versão 1.1. Agosto 2017.

DNIT Manual de Estudos de Tráfego. Ministério dos Transportes, Departamento Nacional de InfraEstrutura de Transportes, Rio de Janeiro, RJ, 2006.

DONG, J., HOUCHEIN A.; SHAFIEIRAD, N.; LU, C.; HAWKINS, N.; KNICKERBOCKER, S.; *VISSIM Calibration for Urban Freeways*. Centerfor Transportation Research and Education, Institute for Transportation, Iowa State University, Ames, IA, 2015

EGAMI, C. Y.. *Adaptação do HCM2000 para determinação do nível de serviço em rodovias de pista simples no Brasil*. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.

EGAMI, C. Y.; SETTI, J. R. A.; Rilett, L. R.. *Algoritmo genético para calibração automática de um simulador de tráfego em rodovias de pista simples*. Transportes (Rio de Janeiro), v. XII, p. 23-35, 2004.

GOLDBERG, D. E.; *The design of innovation: Lessons from and for Competent Genetic Algorithms*. Kluwer Academic Publishers. 1989.

GOLDBERG, D. E.; *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*. Addison-Wesley, Reading, Massachussets. 1989

HARWOOD, D. W.; MAY, A. D.; ANDERSON, I. B.; LEIMAN, L.; e ARCHILLA, A. R.; *Capacity and quality of service of two-lane highways*. Final Report, NCHRP Project 3-55 (3). Midwest Research Institute, Kansas City, Mo, 1999.

HOEL, A. L. et al. *Engenharia de Infraestrutura de Transportes: uma integração multimodal*. Editora Cengage Learning. 2011

HOBAN, C. J.; SHEPHERD, R. J.; FAWCETT, G, J.; E ROBINSON, G. K.; *A model for simulating traffic on two-lane rural roads – User guide and manual for TRARR Version 3.2*, Victoria, Australia, 1991.

HOLLANDER, Y.; LIU, R. *The Principles of Calibrating Traffic Microsimulation Models*. Transportation, v. 35, p. 347–362, 2008.

JACOBSEN, A.C.; CYBUS, H.B. B.. *Microssimulação da travessia de pedestres: coleta de dados para calibração de modelos*. Transportes, v.19, p.79-86, 2011.

LACERDA, V. M.; *Estimação da velocidade média em vias urbanas com o uso do microssimulador VISSIM*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Ceará. 2016

LACERDA, V. M.; CASTRO-NETO, M. M.; *Considerações sobre a calibração do modelo de car-following do vissim para vias arteriais urbanas*. Anais do XXVIII Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes. Curitiba, PR, 2014

LEIMAN, L.; MAY, A. D. *User-Friendly interface for rural highway computer simulation models with emphasis on the incorporation of the TWOPAS model*. Report N° FHWA/CA/TO-96/25. NTIS-National Technical Information Service, U. S. Department of Commerce. University of California, Berkeley CA, 1996.

LLORCA, C., FARAH, H. *Passing Behavior on Two-Lane Roads in Real and Simulated Environments*. Journal of the Transportation Research Board, pp. 29-38. DOI: 10.3141/2556-04. 2016

LOWNES, N.E. MACHEMEHL, R.B. *Sensitivity of Simulated Capacityto Modification of VISSIMDriver Behavior Parameters*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1988, Transportation Research Board of the National Academies, Washington,D.C., pp. 102–110. 2006

LUTTINEN, R., (2001). *Percent Time-Spent-Following as a performance measure for two-lane highways*. Transportation Research Record, 1776(1), 52–59.

LIU, C.; WANG, Z.. *Passing Segment Length Determination on Two-Lane Highways*. World Conference on Transport Research – WCTR, 2016, Shanghai. Transportation Research Procedia 25, 491–496, 2017.

KHAN, M. A.; ECTORS, W.; BELLEMANS, T; JANSSENS, D.; WETS, L. *UAV-Based Traffic Analysis: A Universal Guiding Framework Based on Literature Survey*. 19th EURO Working Group on Transportation Meeting, EWGT2016, 5-7 September 2016,Istanbul, Turkey. Transportation Research Procedia 22, 541–550,2017;

KIM, K. O.; e RILETT, L. R.; *Simplex-Based Calibration of Traffic Microsimulation Models with Intelligent Transportation Systems Data*. Transportation Research Record, (1855), 80-89, 2003.

MA, T.; ABDULHAI, B.; *Genetic Algorithm-based Optimization Approach and generic tool for calibration traffic microscopic simulation parameters*. Transportation Research Record 1800, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 6-15. 2002.

MACHUMU, K. S. *Enhancing the Existing Microscopic Simulation*. Dissertação. Universidade da Flórida. Modeling Practice for Express Lane Facilities, 2017.

MANJUNATHA, P; VORTISCH, P; MATHEW, T.V. *Methodology for the Calibration of VISSIM in Mixed Traffic*. TRB 2013 Annual Meeting, 2013.

MARTÍN, L.E. *Proposta Metodológica para modelagem microscópica de interseções semafORIZadas*. 2018. 197f. Tese de Doutorado Universidade Federal do Ceará, 2018.

Manual de Estudos de Tráfego – Publicação IPR 723; Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes; Rio de Janeiro, 2006.

MCLEAN, J.R. *Two-lane highway traffic operations – Theory and Practice*. Transportation Studies, v.11. Gordon and Preach Science Publishers. Amsterdam. 1989.

MCTRANS (2010) *CORSIM – User's Guide*. TSIS Version 6.2, McTrans, University of Florida.

MEDEIROS, A. L. ; CASTRO NETO, M. M. ; LOUREIRO, C. F. G. ; BESSA JR, J. E.; *Calibração de redes viárias urbanas microssimuladas com o uso de algoritmos genéticos*. XXVII ANPET - Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2013.

MELO, R. A.; *Faixas Adicionais Para Aclives de Rodovias Brasileiras*. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002.

MELO, R.A.; SETTI, J. R. A.. *Faixas Adicionais para aclives de rodovias de pista simples brasileiras: uma adaptação dos critérios da ASSHTO*. Revista Transportes, Vol XI, pgs 41-48. 2003.

MELO, R.A.; SETTI, J. R. A.. *Fluxos mínimos de veículos para implantação de faixas adicionais em aclives de rodovias de pista simples*. TRANSPORTES, v. XV, n. 1, p. 16-23, junho 2007, ISSN: 1415-7713.

MON-MA, M. L.; *Adaptação do HCM-2000 para rodovias de pista simples com faixas adicionais típicas do Estado de São Paulo*. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2008.

MORENO, A. T., LLORCA, C., SAYED, T., GARCÍA, A.; *Field Evaluation of Traffic Performance Measures for Two-Lane Highways in Spain*. 93rd Transportation Research Board Annual Meeting, 1–17. 2014.

MORENO, A. T.; LLORCA, C. ; WASHBURN, S. S. ; BESSA, J. E.; GARCIA, A.; *Effect of Average Passing Zone Length on Spanish Two-Lane Highways Traffic Performance*. 95<sup>th</sup> TRB Annual Meeting Compendium of Papers. Washington, D. C. 2016.

MORENO, A. T. ; LLORCA, C. ; WASHBURN, S. S. ; BESSA, J. E. ; HALE, D. K. ; GARCIA, A. . *Modification of the Highway Capacity Manual two-lane highway analysis procedure for Spanish conditions*. JOURNAL OF ADVANCED TRANSPORTATION, v. 50, p. 1650-1665, 2016.

MORENO, A. T. ; LLORCA, C. ; WASHBURN, S. S. ; BESSA JÚNIOR, J. E. ; GARCIA, A.; *Operational Considerations of Passing Zones for Two-lane Highways: Spanish Case Study*. Promet-Traffic & Transportation, v. 30, p. 601-612, 2018

MORRAL, J.; WERNER, F.E A. *Measuring level of service of two-lane highways by overtakings*. *Transportation Research Record 1287*, TRB, National Research Council, Washington, D.C, p. 62-69, 1990.

MOTIYAMAA, Y.; MITUHASHIB, M.; HIRAIC, S.; OGUCHID, T. *The Effect on Lane Utilization and traffic Capacity of Adding an Auxiliary Lane*. 6th International Symposium on highway Capacity and Quality service, Estocolmo, Suécia, 2011.

MWESIGE, G.; FARAH, H.; BAGAMPADDE, U.; KOUTSOPoulos, H.; *Effect of Passing Zone Length on Operational and Safety of Two-Lane Rural Highways in Uganda*. IATSS Research 41, 2017.

PARK, B.; QI, H.; *Development and evaluation of a procedure for the calibration of simulation models*. Transportation Research Record 1934, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 208-217. 2005.

PENMETSA, P., GHOSH, I., CHANDRA, S.; *Evaluation of Performance Measures for Two-Lane Intercity Highways under Mixed Traffic Conditions*. Journal of Transportation Engineering, 141(10), 1–7. 2015.

PEREIRA, H. M. ; BESSA JÚNIOR, J. E. . Análise comparativa de métodos para cálculo do nível de serviço em rodovias de pista simples. In: XXXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Recife. Anais do XXXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Rio de Janeiro: ANPET, 2017

PTV.VISSIM Fórum - Linkedin. Disponível em: [https://www.linkedin.com/grp/post/2524087-251652670?goback=%2Egna\\_2524087](https://www.linkedin.com/grp/post/2524087-251652670?goback=%2Egna_2524087). Acesso em fevereiro de 2019.

PTV, *VISSIM 10 User Manual*. Planning Transport Verkehr AG – PTV Vision, Karlsruhe, Germany, 2018.

ROESS, R. P.; PRASSAS, E. S.; MCSHANE, W. R. *Traffic Engineering*. 4th Edition. Pearson. 2011.

SETTI, J. R.; BESSA JÚNIOR, J. E.; EGAMI, C. Y.; MON-MA, M. L.. *Adaptação do HCM2000 para análise da capacidade e do nível de serviço em rodovias de pista simples no Brasil*. Transportes (Rio de Janeiro), v. 19, p. 66-78, 2011.

TANEKA, D.; TROUTBECK, R.. *Estimating Meeting and Overtaking Rates on Low Volume Roads*. Third International Symposium on Highway Capacity. p.998-1005. 1998.

TAPANI, A. *Versatile Model for Simulation of Rural Road Traffic*. Transportation Research Record 1934, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 169-178, 2005.

TRB (1985) *Highway Capacity Manual 1985*. Transportation Research Board. Washington D.C.

TRB (2000) *Highway Capacity Manual 2000*. Transportation Research Board. Washington D.C.

TRB (2010) *Highway Capacity Manual 2010*. Transportation Research Board. Washington D.C.

TRIOLA, M. F. Tradução de Vera Regina Lima de Farias e Flores. *Introdução à estatística. 10* ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos Científicos Editora S.A (LTC), 2008.

TKK; *HUTSIM – A microscopic traffic simulator*. Laboratory of Transportation Engineering, Helsinki University of Technology, 2011.

TSS; *Aimsun Next Manual*. Barcelona, Espanha, 2018.

UTIMURA, F. S.; SETTI, J. R.; EGAMI, C. Y.; MON-MA, M. L.. *Verificação da acurácia de estimativas do nível de serviço em rodovias de pista simples no estado de São Paulo*. In: XXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2007, Rio de Janeiro. Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2007. Rio de Janeiro: ANPET, 2007.

YAQIN, Q.; JIAN, X.; HONGGI, L.; FENGXIANG, G.; e HUASEN, W.; *Driving Simulation Study of Traffic Flow Characteristics of The Climbing Lane on a Two-Lane Rural Road*. ICCTP 2009: Critical Issues in Transportation Systems Planning, Development, and Management, 2009

YU, M.; e FAN, W.; *Calibration of microscopic traffic simulation models using metaheuristic algorithms*. International Journal of Transportation Science and Technology, v. 6, n. 1, p. 63-77. 2017.

WASHBURN, S.; LI J.. *Development of a Simulation Program for Two-Lane Highway Analysis*. Center for Multimodal Solutions for Congestion Mitigation (CMS), CMS Project Number: 2008-002, Gainesville, FL, EUA. 2010.

WASHBURN, S.S., WATSON, D.; BIAN, Z.; LUTTINEN, T.; AL-KAISY, A.; JAFARI, A.; DOWLING, R.; ELIAS, A.. Improved analysis of Two-Lane Highway Capacity and Operational Performance. Final Report for NCHRP Project 17-65 National Cooperative Highway Research Program, TRB, Washington, Web-Only Document 255. 2018.

WIEDEMANN, R.; REITER, U. *Microscopic Traffic Simulation - The Simulation System Mission – Background and Actual State*, 1992.

## APÊNDICE A

Nesse Apêndice são representadas as informações dos perfis vertical e horizontal e as informações da sinalização dos segmentos da Rodovia BR-040 onde foram coletados os dados de tráfego nos feriados da Semana Santa e da Independência de 2018.

Figura A.14: Perfis vertical e horizontal do trecho entre os km's 96 e 105 da BR-040

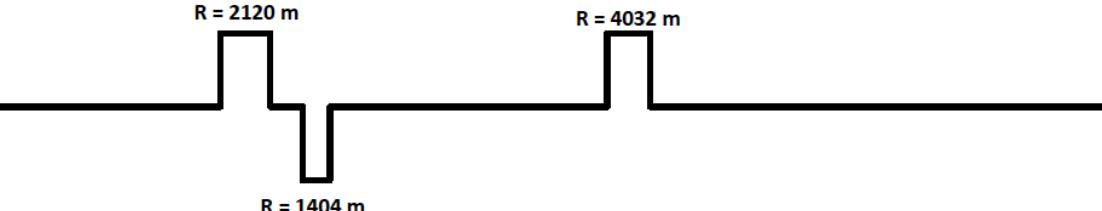
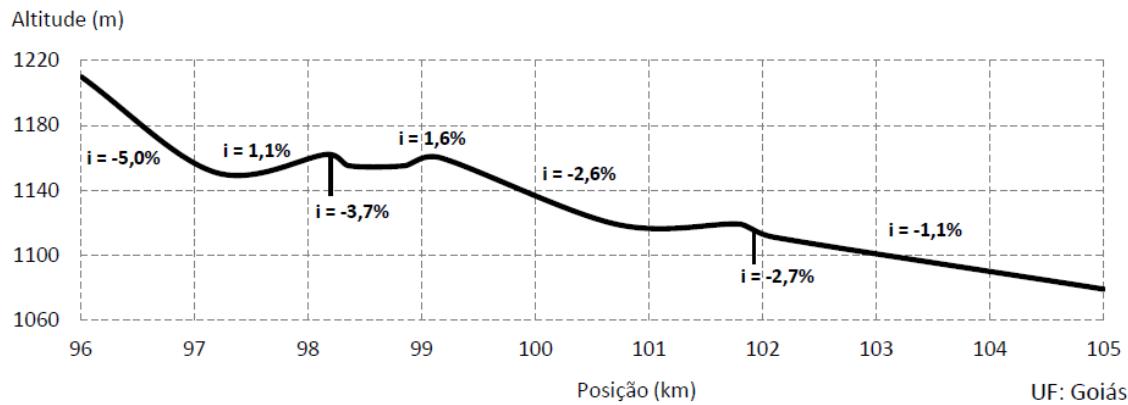
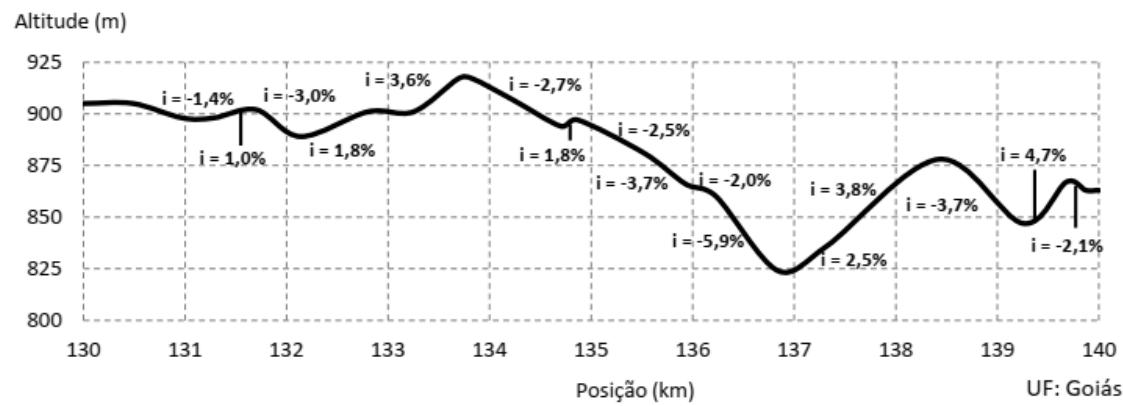


Figura A.2: Perfis vertical e horizontal do trecho entre os km's 130 e 140 da BR-040



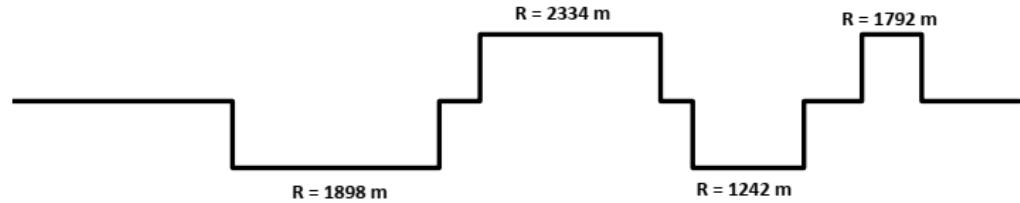


Figura A.3: Perfis Vertical e Horizontal do trecho entre os km's 140 e 150 da BR-040

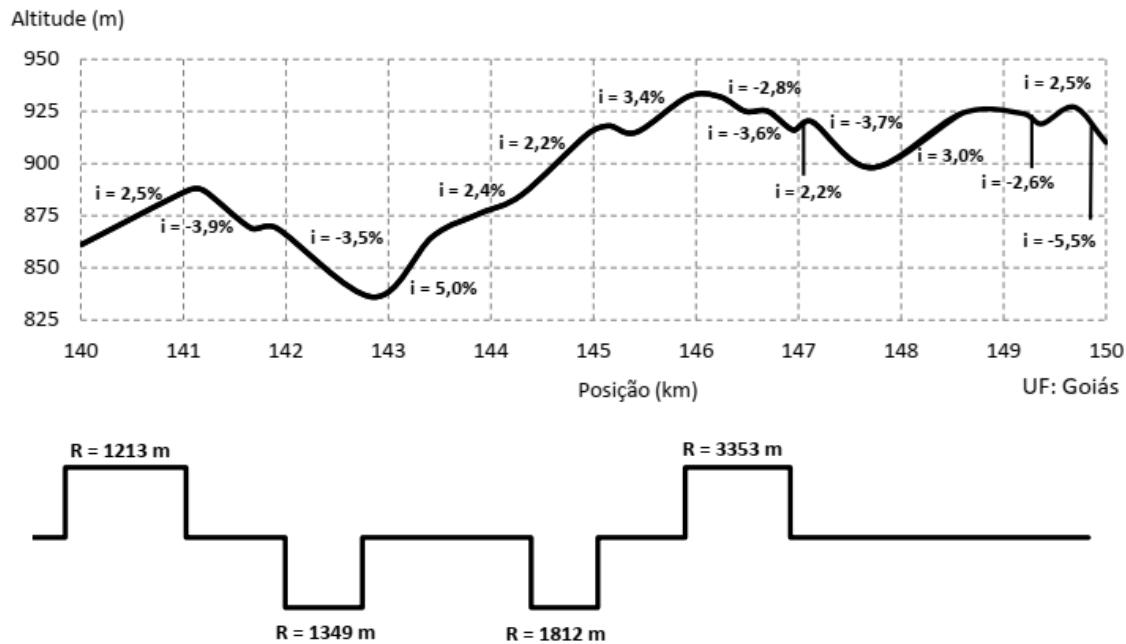


Figura A.4: Perfis Vertical e Horizontal do trecho entre os km's 9 e 19 da BR-040

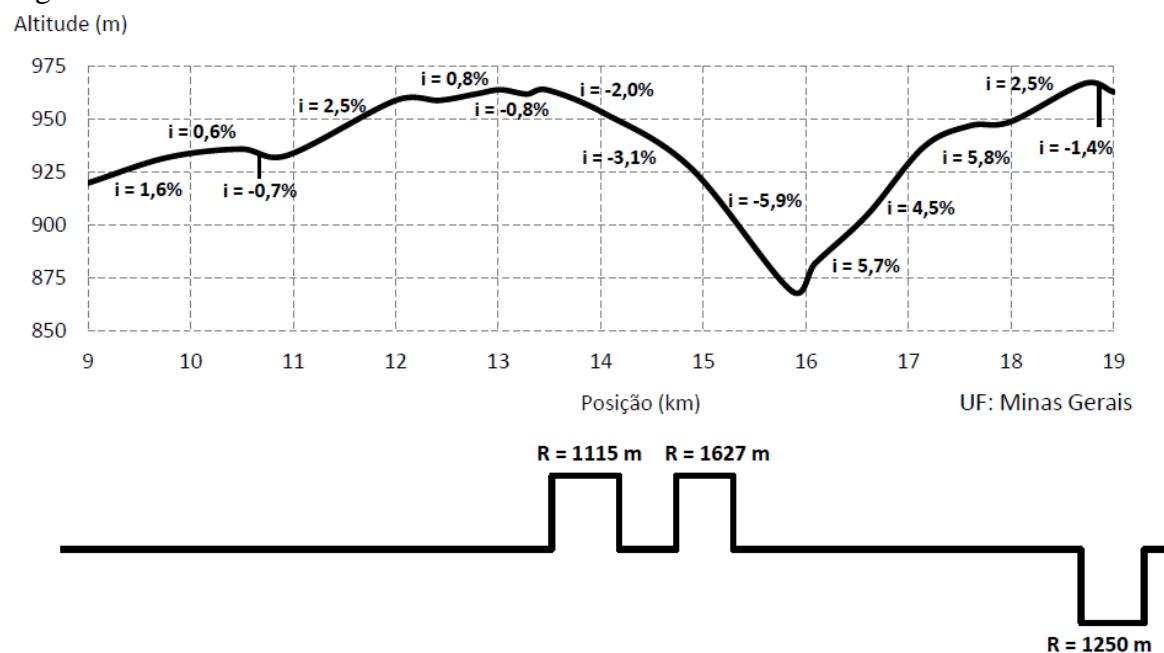


Figura A.5: Perfis Vertical e Horizontal do trecho entre os km's 19 e 29 da BR-040

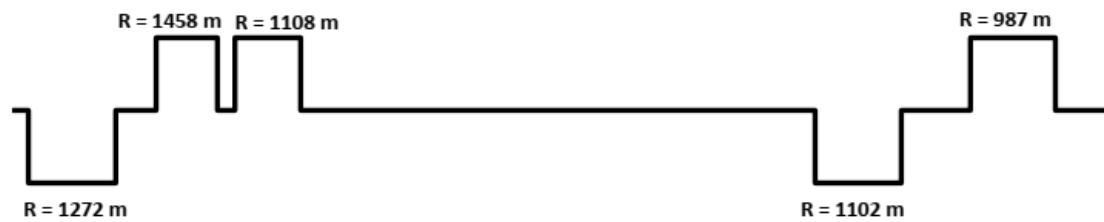
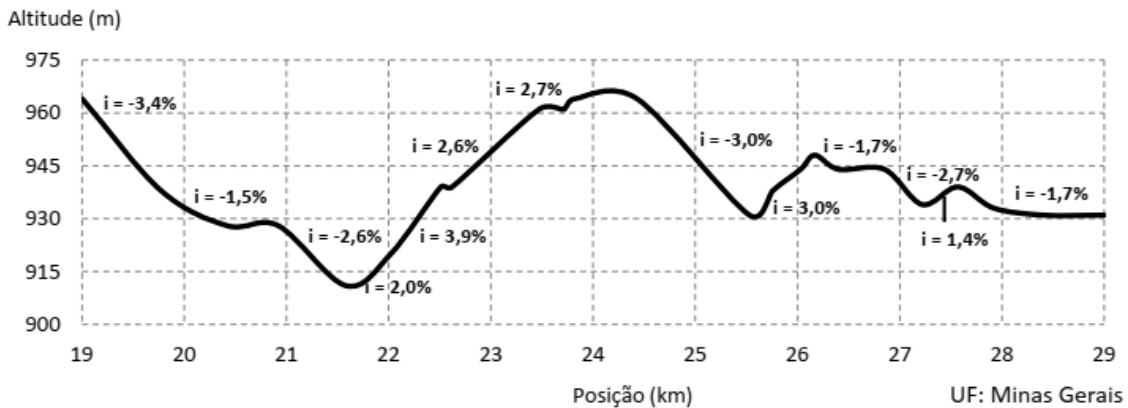


Figura A.6: Perfis Vertical e Horizontal do trecho entre os km's 29 e 29 da BR-040

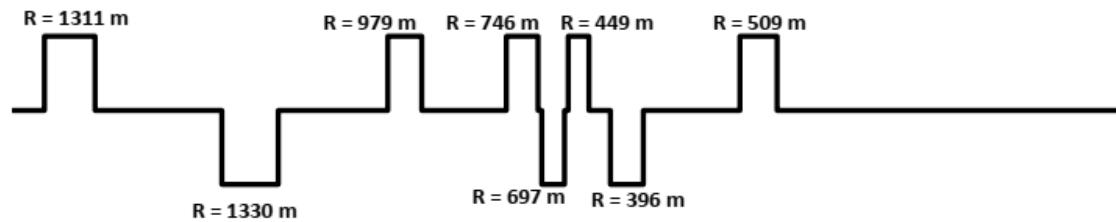
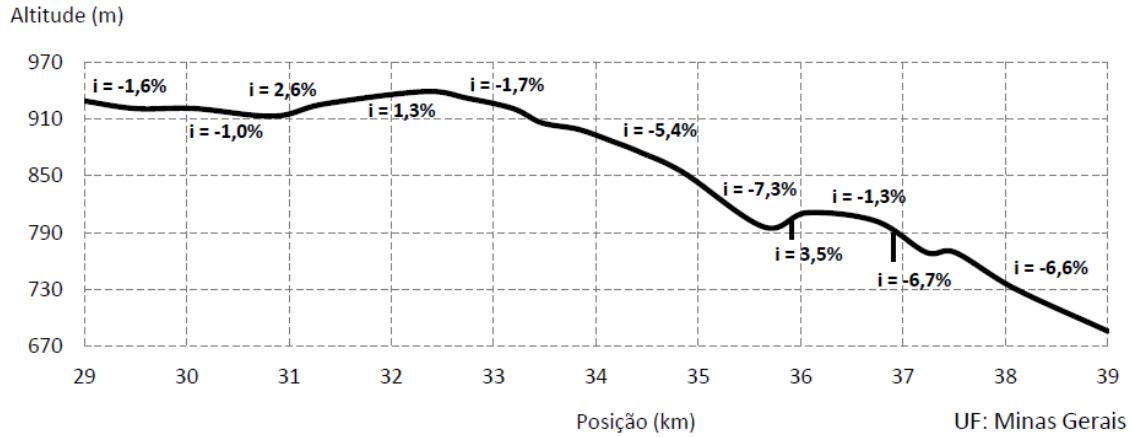


Figura A.7: Perfis Vertical e Horizontal do trecho entre os km's 288 e 298 da BR-040

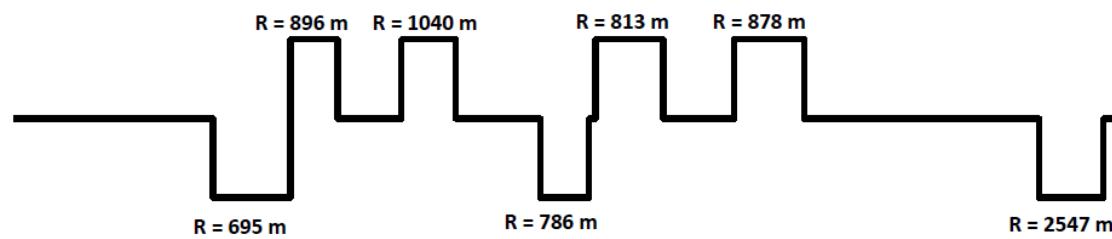
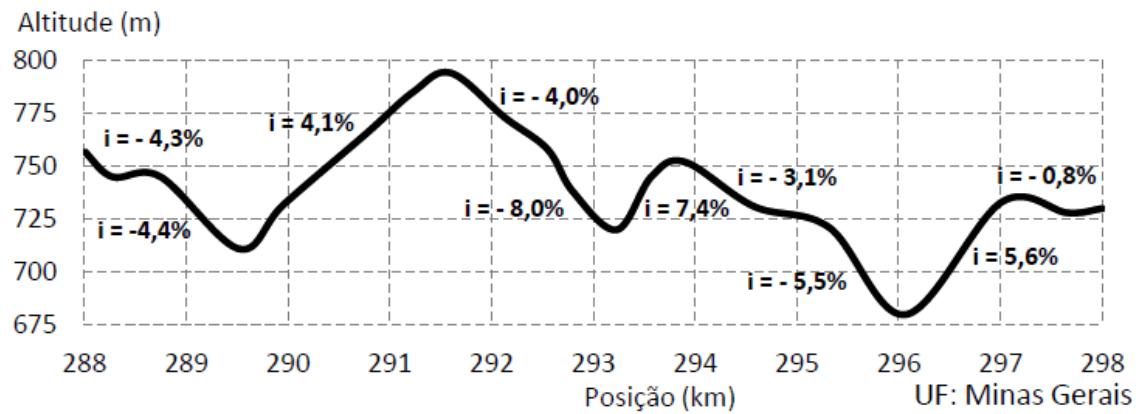


Figura A.8: Perfis Vertical e Horizontal do trecho entre os km's 359 e 369 da BR-040

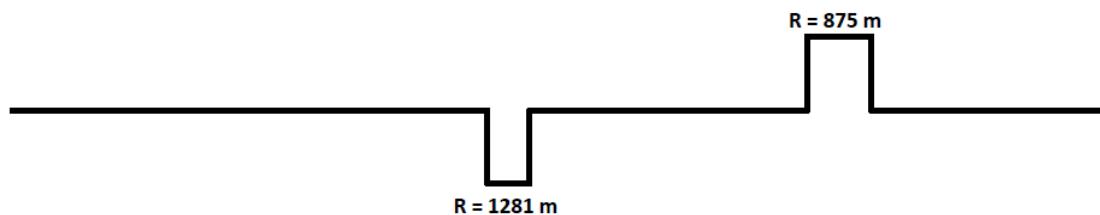
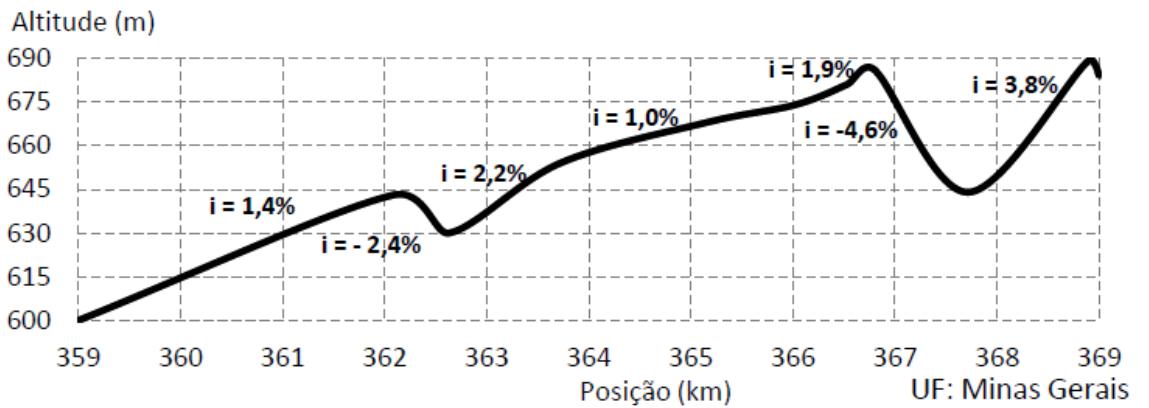


Figura A.9: Perfis Vertical e Horizontal do trecho entre os km's 369 e 379 da BR-040

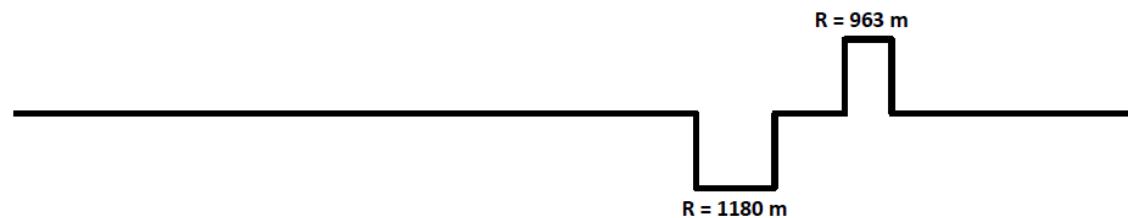
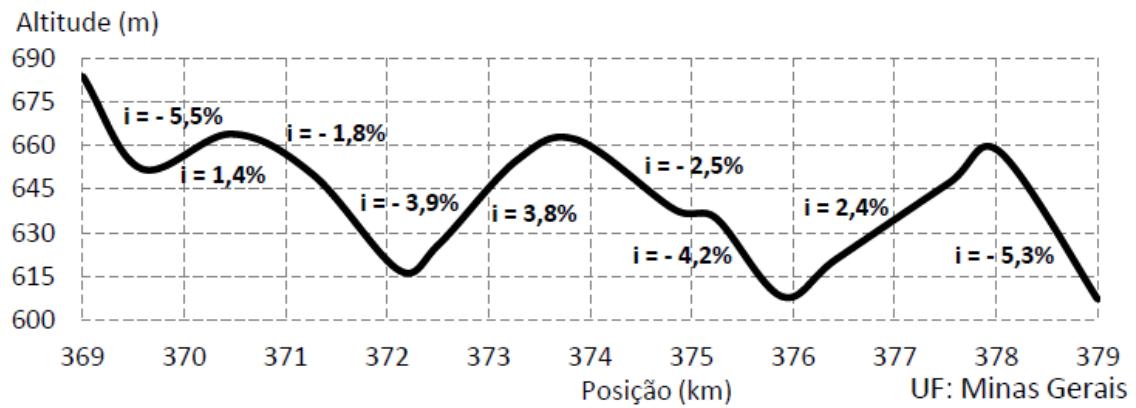


Figura A.10: Perfis Vertical e Horizontal do trecho entre os km's 379 e 389 da BR-040

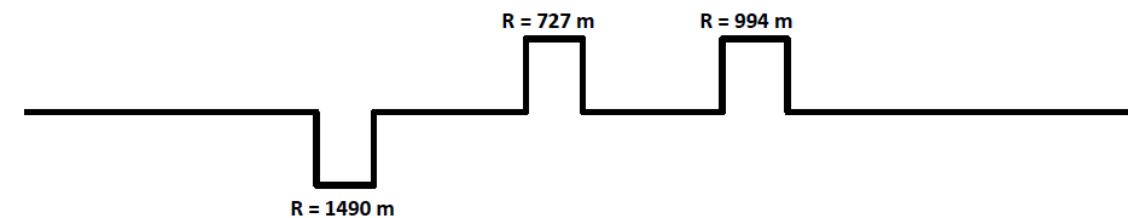
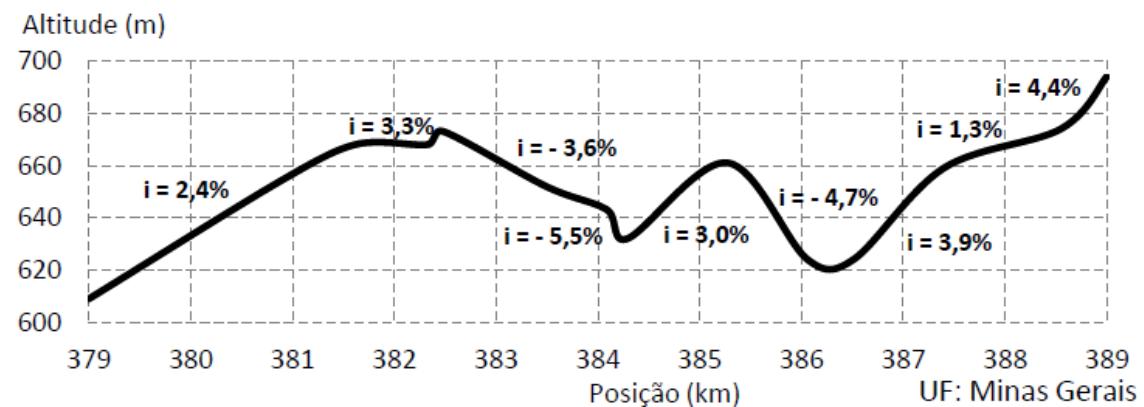


Figura A.11: Perfis Vertical e Horizontal do trecho entre os km's 379 e 389 da BR-040

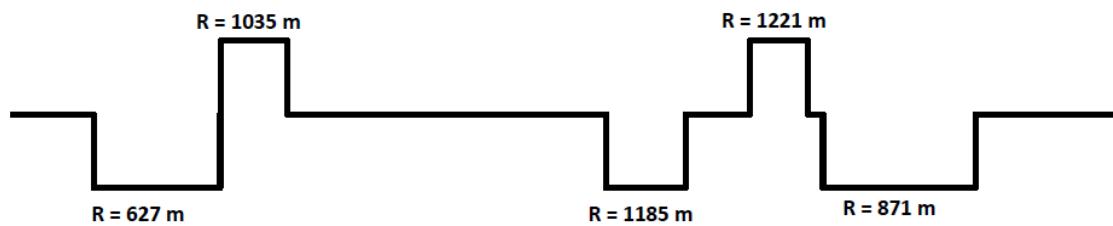
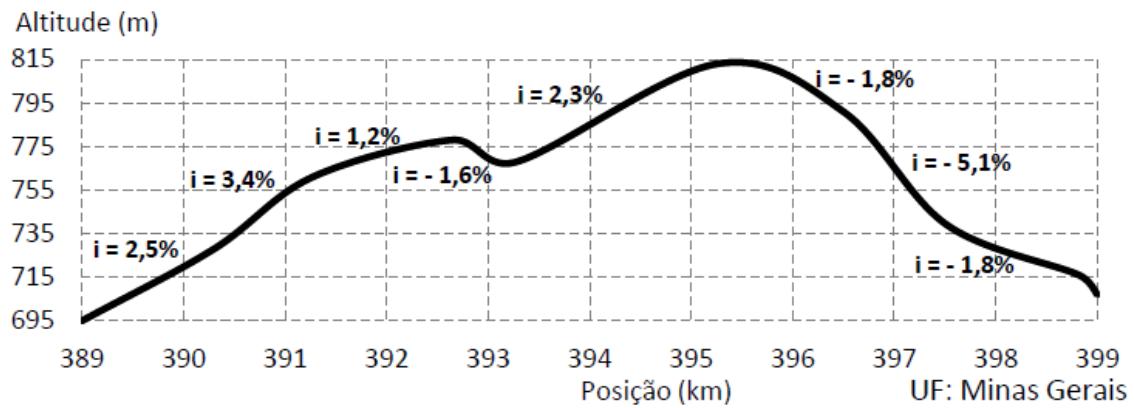


Figura A.12: Sinalização horizontal do trecho entre os km's 96 e 105 da BR-040

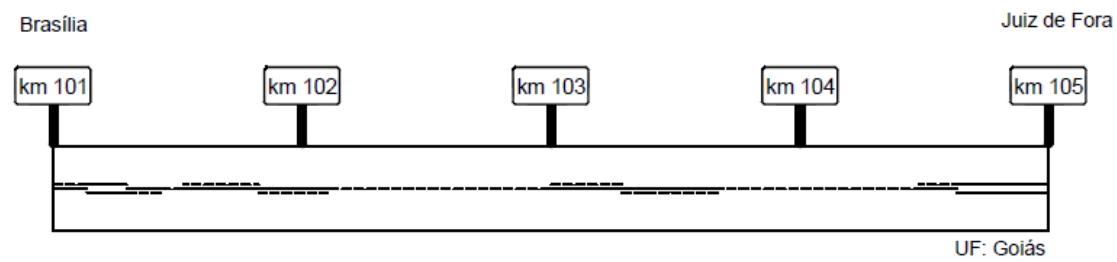
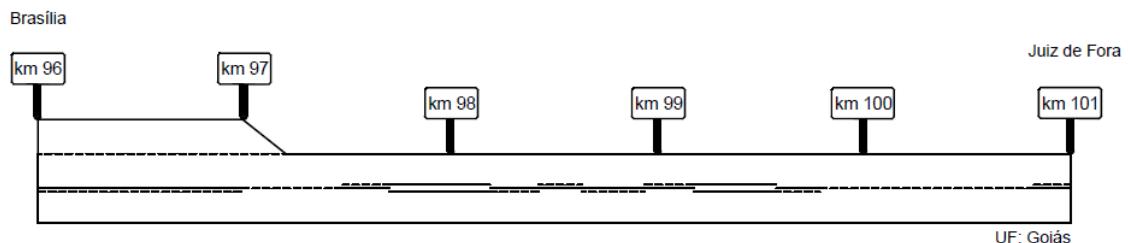


Figura A.13: Sinalização horizontal do trecho entre os km's 130 e 140 da BR-040



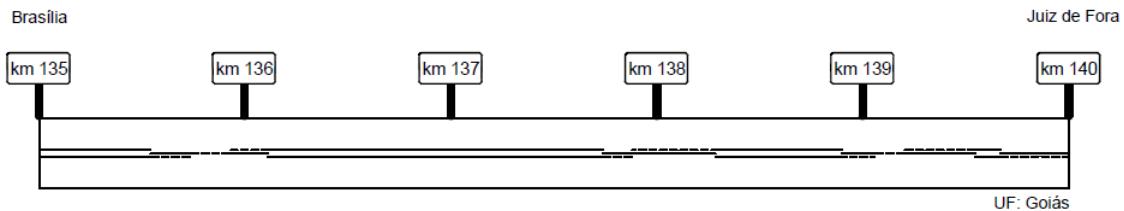


Figura A.14: Sinalização horizontal do trecho entre os km's 140 e 150 da BR-040

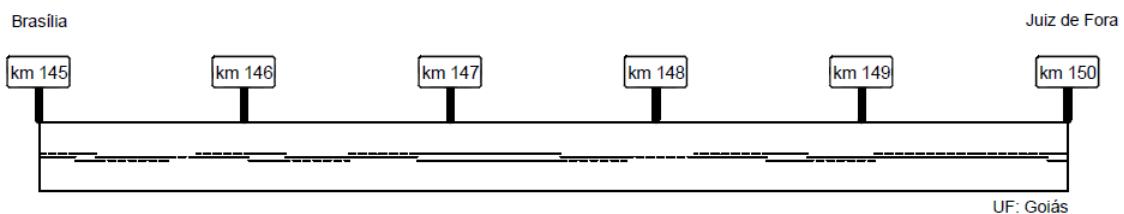
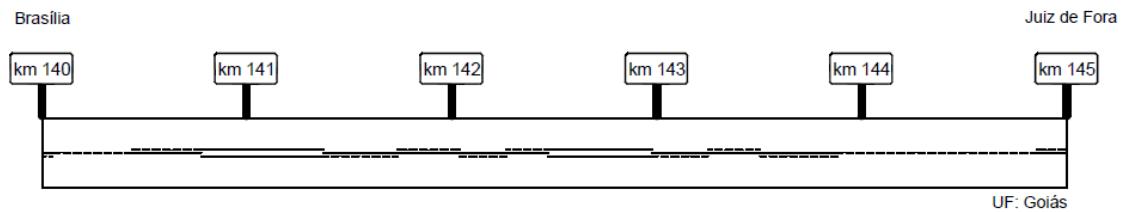


Figura A.15: Sinalização horizontal do trecho entre os km's 9 e 19 da BR-040

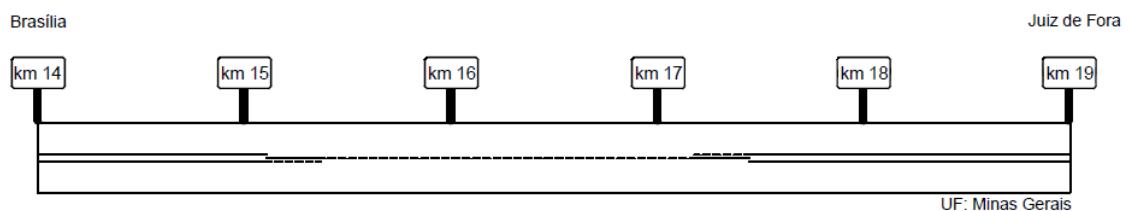
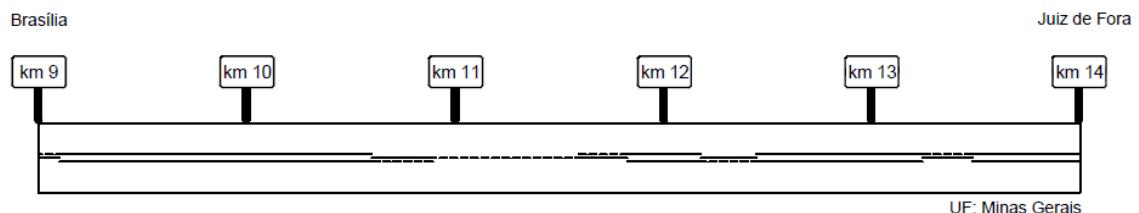


Figura A.16: Sinalização horizontal do trecho entre os km's 19 e 29 da BR-040

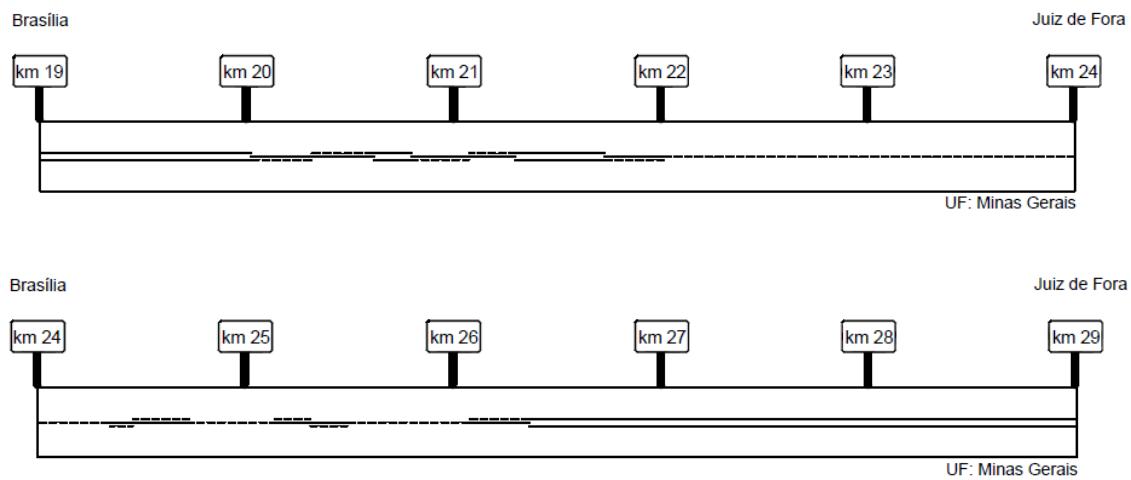


Figura A.17: Sinalização Horizontal do trecho entre os km's 29 e 39 da BR-040

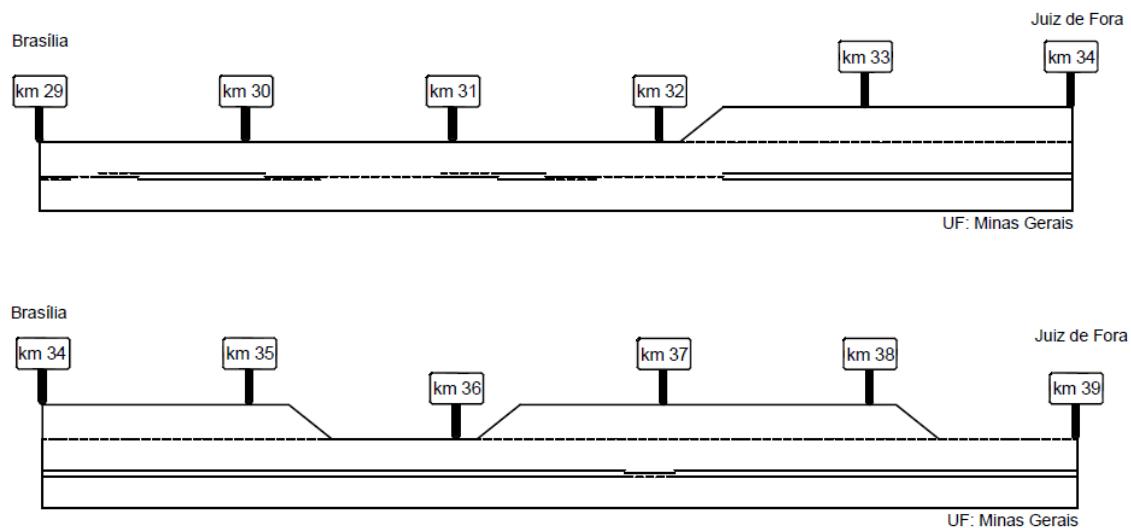
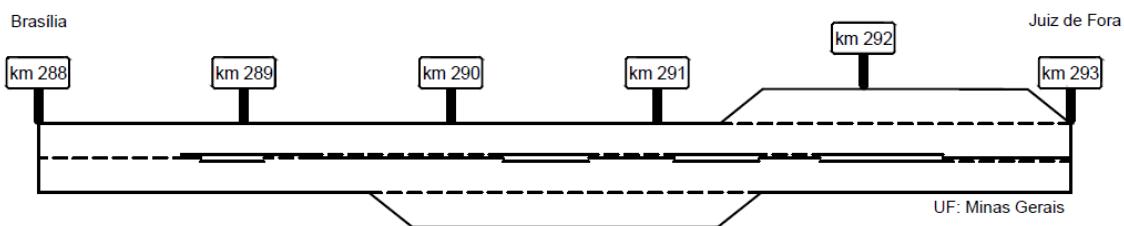


Figura A.18: Sinalização horizontal do trecho entre os km's 288 e 298 da BR-040



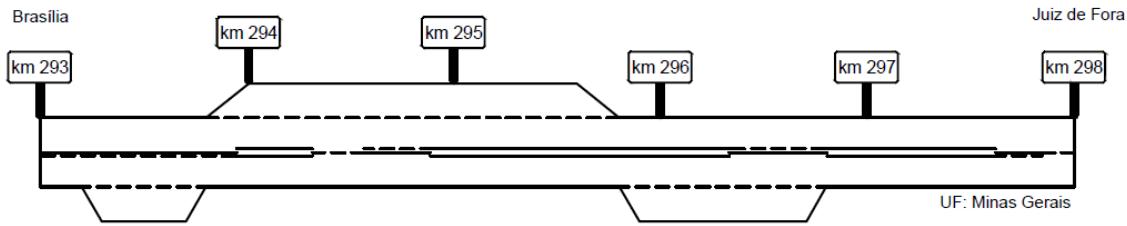


Figura A.19: Sinalização horizontal do trecho entre os km's 359 e 369 da BR-040

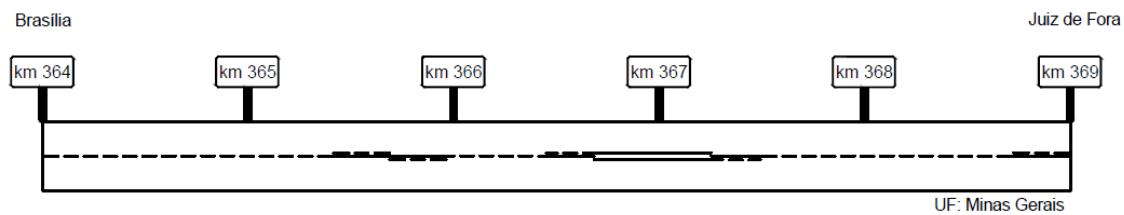
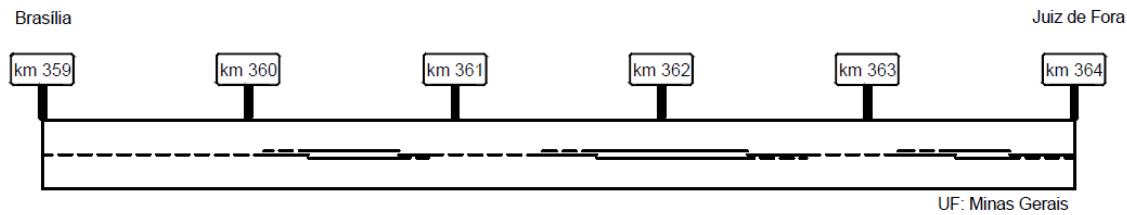


Figura A.20: Sinalização horizontal do trecho entre os km's 369 e 379 da BR-040

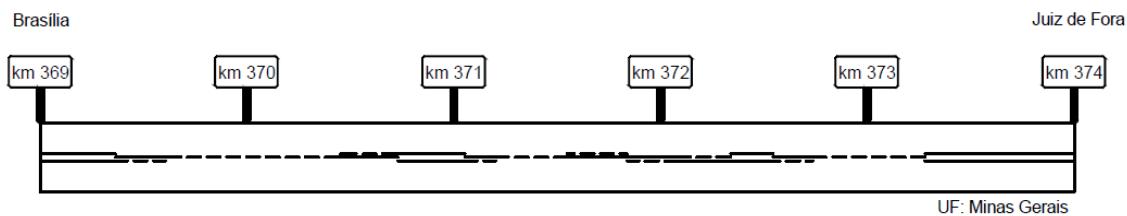


Figura A.21: Sinalização horizontal do trecho entre os km's 379 e 389 da BR-040

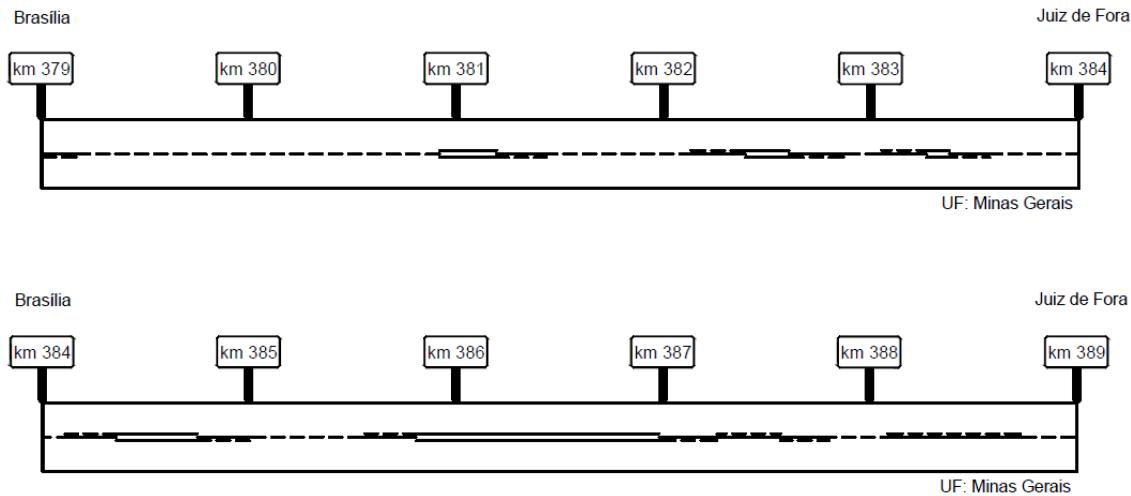
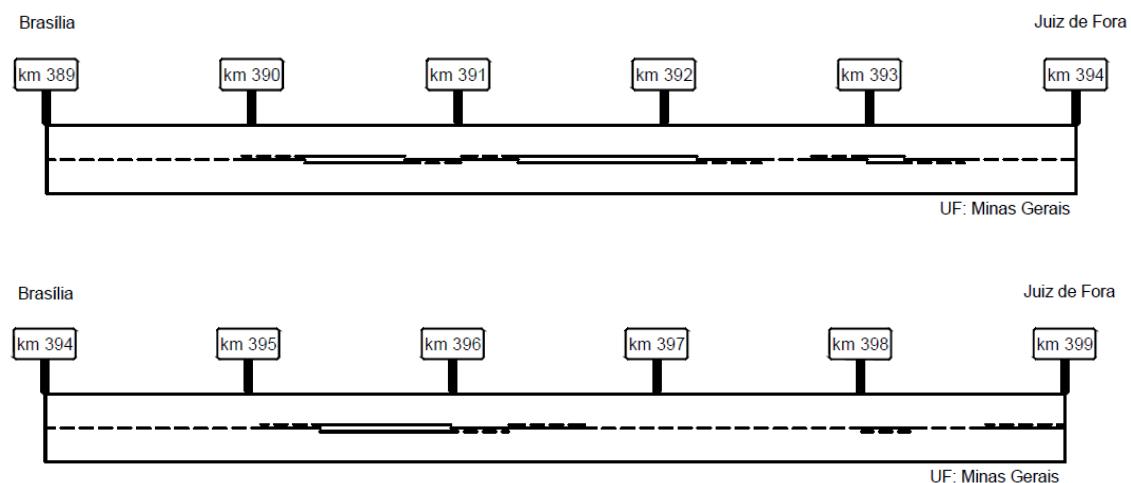


Figura A.22: Sinalização horizontal do trecho entre os km's 389 e 399 da BR-040



## APÊNDICE B

Nesse Apêndice são apresentadas as condições geométricas dos trechos hipotéticos modelados no VISSIM para as simulações (Tabelas B.1 a B.5), bem como os critérios adotados para simulação com faixa adicional de subida (Tabelas B.6 a B.10).

Tabela B.1: Modelos de Geometria Hipotética – COG 1

COG 1 - I		COG 1 - II		COG 1- III		COG 1 - IV		COG 1 - V	
Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)
1	467	0	669	2	328	2	290	0	311
-4	57	-6	11	-2	280	-2	259	0	632
1	742	4	96	1	250	3	110	1	607
-2	238	0	758	-6	129	-1	754	0	673
1	689	0	752	1	246	0	731	0	526
-1	723	-1	408	-2	289	0	291	-8	129
1	691	1	542	1	387	0	587	1	474
0	244	-6	96	-4	97	0	546	-2	211
1	771	0	586	6	170	1	545	0	613
0	596	0	731	0	706	-1	238	0	784
1	627	0	508	1	155	1	553	1	411
0	572	0	525	-2	87	-4	23	0	718
1	540	0	332	0	452	1	744	1	300
0	572	0	383	0	651	-1	459	0	623
1	468	1	441	2	294	1	701	1	183
-1	772	-2	277	0	423	-1	647	-3	171
1	446	1	451	0	529	0	379	0	714
-4	34	0	578	-4	81	-3	135	-2	276
0	629	8	81	0	514	0	0	0	231
-1	122	0	455	-1	295	0	290	0	79
		1	328	2	242	0	777	1	70
		-1	301	-1	467	-1	643	-6	116
		0	480	1	791	0	298	0	495
		-1	211	0	601			-7	184
				0	414			1	185
				0	464			-1	284
				0	658				
Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000

(cont.) Tabela B.1: Modelos de Geometria Hipotética – COG 1

COG 1 - VI		COG 1 - VII		COG 1- VIII		COG 1 - IX		COG 1 - X	
Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)
2	351	1	270	0	418	0	235	0	333
0	625	0	322	-3	192	-1	439	-1	518
0	626	7	112	0	114	1	539	1	523
0	670	-3	87	0	763	0	422	0	372
2	132	0	696	1	409	1	776	4	103
-1	347	-1	659	-2	391	-1	561	0	627
0	29	2	278	0	360	2	319	0	575
0	516	-1	214	-8	40	-2	212	-7	39
1	712	0	478	0	722	0	642	0	796
0	709	-1	385	0	723	0	599	-1	492
0	793	0	598	1	107	1	627	0	616
0	708	-1	253	-8	163	-1	791	0	87
7	104	2	326	1	615	0	268	1	609
-1	202	-2	366	0	679	0	577	0	356
7	182	0	335	1	645	0	707	0	762
-1	214	-1	215	-1	472	0	623	-5	199
0	494	1	671	2	337	2	247	1	751
-2	269	0	777	0	396	-2	11	-1	798
0	683	1	476	1	743	1	209	0	754
0	433	0	446	-1	452	-5	55	0	436
1	311	3	144	1	634	0	677	3	149
-2	322	-1	632	-1	336	-1	464	-3	105
1	305	1	515	4	46				
-2	263	-1	745	-1	243				
Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000

Tabela B.2: Modelos de Geometria Hipotética – COG 2

COG 2 - I		COG 2 - II		COG 2 - III		COG 2 - IV		COG 2 - V	
Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)
1	429	0	858	1	1279	1	721	1	649
-1	1058	0	1397	0	1379	0	819	-3	712
9	95	2	752	5	341	3	383	2	506
-1	1105	0	861	-1	413	-3	757	0	992
3	551	0	1074	4	276	9	146	2	440
-8	93	-2	330	0	1115	-9	21	0	851
4	304	1	698	1	749	1	819	9	170
-8	67	-1	1256	-3	704	-5	363	-9	167
2	228	0	823	1	636	2	798	2	668
-1	1284	-1	689	-4	311	-3	679	-8	184
0	1044	1	923	1	1351	5	259	4	341
-1	1386	-5	310	-6	354	-2	778	-1	1336
8	134	9	29	3	384	1	852	1	997
-2	492			-9	68	-1	718	-1	996
0	1123			2	640	0	1356	1	800
2	607					-2	531	-8	109
								9	82
Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000
COG 2 - VI		COG 2 - VII		COG 2- VIII		COG 2 - IX		COG 2 - X	
Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)
0	1298	1	568	8	20	0	1385	1	984
-4	206	-3	456	0	1133	-1	1344	0	862
2	227	1	750	1	1135	1	1280	1	876
-2	418	0	1393	-2	450	-8	17	-1	1210
1	1105	1	644	0	1268	3	308	2	723
-1	1117	0	854	-9	83	-1	1012	-3	755
1	754	0	1197	1	1190	8	44	1	916
-4	302	-1	818	-1	1070	-2	711	-3	304
9	162	8	43	8	185	0	1377	1	936
-1	519	0	1119	-1	642	-8	72	-4	289
1	1362	1	1089	1	1180	1	662	5	366
-6	341	-6	395	-2	602	-3	539	-3	574
0	1231	2	431	1	1042	1	1249	2	293
-1	496	-6	243					-8	44
9	197							0	849
-4	265							-9	19
Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000

Tabela B.3: Modelos de Geometria Hipotética – COG 3

COG 3 - I		COG 3 - II		COG 3 - III		COG 3 - IV		COG 3 - V	
Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)
2	1295	1	1119	1	997	2	708	3	560
-6	223	-2	1305	-7	242	-7	299	-1	1084
2	1015	1	1030	3	766	2	771	4	509
-1	1195	-3	1041	-3	822	-7	395	-1	1149
7	324	1	1248	2	601	0	2392	3	661
-6	339	-3	459	-1	2028	-2	1326	0	1642
1	933	1	1082	2	1124	1	1203	0	2367
-2	1311	-3	1062	-1	1356	-1	1242	-3	453
2	787	2	1249	3	449	1	1244	2	719
-6	400	-4	405	-6	241	-4	420	-2	856
5	343			1	1374				
-1	1529								
6	306								
Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000
COG 3 - VI		COG 3 - VII		COG 3- VIII		COG 3 - IX		COG 3 - X	
Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)
1	1266	1	809	2	951	4	556	4	526
-1	1154	-3	599	-2	814	-4	466	-7	257
3	800	2	1067	1	1241	7	264	1	817
-7	332	-2	1051	-4	558	0	1964	-2	1259
0	1514	2	893	1	1137	2	880	0	2111
-1	1397	-1	1021	-7	356	-7	297	-1	1305
1	864	1	1499	4	421	2	1013	1	1087
-7	352	-2	1051	-3	408	-6	352	-1	1211
1	1504	1	1011	5	247	1	1409	1	951
-2	817	-2	999	-1	1225	-1	1526	-3	476
				3	431	7	366		
				-3	857	-3	907		
				7	279				
				-1	1075				
Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000

Tabela B .4: Modelos de Geometria Hipotética – COG 4

COG 4 - I		COG 4 - II		COG 4- III		COG 4 - IV		COG 4 - V	
Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)
4	458	2	1104	2	835	2	1166	3	848
-5	690	-4	723	-4	429	-9	328	-4	901
5	485	2	806	8	390	4	587	4	531
-4	536	-3	767	-9	343	-8	338	-3	903
6	401	4	612	3	699	2	1044	7	349
-8	329	-4	716	-4	790	-5	480	-3	1222
3	993	3	1152	4	506	8	371	9	286
-4	1121	-4	922	-5	707	-5	669	-4	695
3	666	2	1111	5	478	8	359	3	891
-2	1247	-3	1356	-4	821	-3	756	-3	880
4	668	3	731	6	474	3	1043	4	655
-9	264			-3	1079	-4	1072	-4	897
8	276			3	1055	3	710	8	318
-3	1011			-5	449	-4	1077	-4	624
3	855			3	945				
Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000
COG 4 - VI		COG 4 - VII		COG 4 - VIII		COG 4 - IX		COG 4 - X	
Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)
8	298	9	242	2	1200	-8	345	3	812
-3	994	-2	1261	-4	686	3	836	-4	530
3	998	6	512	7	364	-9	237	8	257
-5	499	-9	347	-4	495	3	876	-5	529
2	828	2	1192	4	684	-3	883	8	378
-4	957	-4	605	-3	715	4	456	-5	571
3	902	7	205	3	799	-8	359	6	453
-5	646	-4	978	-5	797	3	1110	-4	542
6	407	8	260	8	234	-9	381	3	897
-3	991	-4	776	-2	1260	2	917	-9	299
3	1043	2	869	9	394	-4	981	2	879
-5	781	-6	436	-9	351	4	758	-5	584
3	656	3	946	4	629	-3	940	3	857
		-3	820	-5	554	6	431	-8	203
		4	551	4	406	-6	490	4	425
				-6	432			-3	971
								2	813
Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000

Tabela B.5: Modelos de Geometria Hipotética – COG 5

COG 5 - I		COG 5 - II		COG 5 - III		COG 5 - IV		COG 5 - V	
Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)
9	847	7	1104	7	1740	7	555	5	1235
-9	1389	-6	723	-6	1144	-9	1223	-2	2156
9	670	2	806	8	1239	8	869	3	1170
-7	1451	-8	767	-7	415	-7	894	-3	1295
9	482	8	612	9	759	6	999	8	1161
-9	1123	-8	716	-6	505	-5	769	-4	830
7	581	9	1152	5	1328	7	736	9	607
-7	1020	-5	922	-5	999	-7	1287	-1	1546
9	519	6	1111	7	508	5	1069		
-7	1918		1356	-3	1363	-1	1642		
			731						
Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000
COG 5 - VI		COG 5 - VII		COG 5 - VIII		COG 5 - IX		COG 5 - X	
Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)	Rampa (%)	Extensão (m)
7	527	8	1296	8	1005	4	933	9	1565
-8	845	-8	1088	-7	462	-5	971	-7	520
9	811	9	674	8	492	8	465	3	1239
-6	1162	-4	1024	-8	826	-6	429	-9	501
5	1172	8	421	5	739	5	993	4	677
-8	698	-7	1352	-8	493	-5	942	-7	1131
6	409	3	1072	6	581	9	649	9	857
-4	890	-6	608	-7	871	-5	828	-9	633
8	542	3	1240	9	913	4	1192	9	688
-6	994	-8	1225	-9	432	-4	802	-9	404
6	821			5	726	7	587	7	1785
8	565			-8	899	-5	1209		
-7	564			4	1561				
Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000	Total (m)	10.000

Tabela B.6: Subtrechos hipotéticos indicados para implantação de faixa adicional para um trecho hipotético com COG = 1

COG 1 - I			COG 1 - II			COG 1- III		
Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?
1	467	Não	0	669	Não	2	328	Não
-4	57	Não	-6	11	Não	-2	280	Não
1	742	Não	4	96	Não	1	250	Não
-2	238	Não	0	758	Não	-6	129	Não
1	689	Não	0	752	Não	1	246	Não
-1	723	Não	-1	408	Não	-2	289	Não
1	691	Não	1	542	Não	1	387	Não
0	244	Não	-6	96	Não	-4	97	Não
1	771	Não	0	586	Não	6	170	Não
0	596	Não	0	731	Não	0	706	Não
1	627	Não	0	508	Não	1	155	Não
0	572	Não	0	525	Não	-2	87	Não
1	540	Não	0	332	Não	0	452	Não
0	572	Não	0	383	Não	0	651	Não
1	468	Não	1	441	Não	2	294	Não
-1	772	Não	-2	277	Não	0	423	Não
1	446	Não	1	451	Não	0	529	Não
-4	34	Não	0	578	Não	-4	81	Não
0	629	Não	8	81	Não	0	514	Não
-1	122	Não	0	455	Não	-1	295	Não
			1	328	Não	2	242	Não
			-1	301	Não	-1	467	Não
			0	480	Não	1	791	Não
			-1	211	Não	0	601	Não
						0	414	
						0	464	
						0	658	
COG 1 - IV			COG 1 - V			COG 1- VI		
Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?
2	290	Não	0	311	Não	2	351	Não
-2	259	Não	0	632	Não	0	625	Não
3	110	Não	1	607	Não	0	626	Não
-1	754	Não	0	673	Não	0	670	Não
0	731	Não	0	526	Não	2	132	Não
0	291	Não	-8	129	Não	-1	347	Não
0	587	Não	1	474	Não	0	29	Não
0	546	Não	-2	211	Não	0	516	Não
1	545	Não	0	613	Não	1	712	Não
-1	238	Não	0	784	Não	0	709	Não
1	553	Não	1	411	Não	0	793	Não
-4	23	Não	0	718	Não	0	708	Não
1	744	Não	1	300	Não	7	104	Não
-1	459	Não	0	623	Não	-1	202	Não
1	701	Não	1	183	Não	7	182	Não
-1	647	Não	-3	171	Não	-1	214	Não
0	379	Não	0	714	Não	0	494	Não
-3	135	Não	-2	276	Não	-2	269	Não
0	0	Não	0	231	Não	0	683	Não
0	290	Não	0	79	Não	0	433	Não
0	777	Não	1	70	Não	1	311	Não
-1	643	Não	-6	116	Não	-2	322	Não
0	298	Não	0	495	Não	1	305	Não
			-7	184	Não	-2	263	Não

	1 -1	185 284	Não Não	
--	---------	------------	------------	--

(cont.) Tabela B.6: Subtrechos hipotéticos indicados para implantação de faixa adicional para um trecho hipotético com COG = 1

COG 1 - VII			COG 1 - VIII		
Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?
1	270	Não	0	418	Não
0	322	Não	-3	192	Não
7	112	Não	0	114	Não
-3	87	Não	0	763	Não
0	696	Não	1	409	Não
-1	659	Não	-2	391	Não
2	278	Não	0	360	Não
-1	214	Não	-8	40	Não
0	478	Não	0	722	Não
-1	385	Não	0	723	Não
0	598	Não	1	107	Não
-1	253	Não	-8	163	Não
2	326	Não	1	615	Não
-2	366	Não	0	679	Não
0	335	Não	1	645	Não
-1	215	Não	-1	472	Não
1	671	Não	2	337	Não
0	777	Não	0	396	Não
1	476	Não	1	743	Não
0	446	Não	-1	452	Não
3	144	Não	1	634	Não
-1	632	Não	-1	336	Não
1	515	Não	4	46	Não
-1	745	Não	-1	243	Não
COG 1 - IX			COG 1 - X		
Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?

0	235	Não	0	333	Não
-1	439	Não	-1	518	Não
1	539	Não	1	523	Não
0	422	Não	0	372	Não
1	776	Não	4	103	Não
-1	561	Não	0	627	Não
2	319	Não	0	575	Não
-2	212	Não	-7	39	Não
0	642	Não	0	796	Não
0	599	Não	-1	492	Não
1	627	Não	0	616	Não
-1	791	Não	0	87	Não
0	268	Não	1	609	Não
0	577	Não	0	356	Não
0	707	Não	0	762	Não
0	623	Não	-5	199	Não
2	247	Não	1	751	Não
-2	11	Não	-1	798	Não
1	209	Não	0	754	Não
-5	55	Não	0	436	Não
0	677	Não	3	149	Não
-1	464	Não	-3	105	Não

Tabela B.7: Subtrechos hipotéticos indicados para implantação de faixa adicional para um trecho hipotético com COG = 2

COG 1 - I			COG 2 - II			COG 2- III		
Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?
1	429	Não	0	858	Não	1	1279	Não
-1	1058	Não	0	1397	Não	0	1379	Não
9	95	Não	2	752	Não	5	341	Não
-1	1105	Não	0	861	Não	-1	413	Não
3	551	Sim	0	1074	Não	4	276	Não
-8	93	Não	-2	330	Não	0	1115	Não
4	304	Não	1	698	Não	1	749	Não
-8	67	Não	-1	1256	Não	-3	704	Não
2	228	Não	0	823	Não	1	636	Não
-1	1284	Não	-1	689	Não	-4	311	Não
0	1044	Não	1	923	Não	1	1351	Não
-1	1386	Não	-5	310	Não	-6	354	Não
8	134	Não	9	29	Não	3	384	Não
-2	492	Não				-9	68	Não
0	1123	Não				2	640	Sim
2	607	Sim						
COG 2 - IV			COG 2 - V			COG 2- VI		
Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?

1	721	Não	1	649	Não	0	1298	Não
0	819	Não	-3	712	Não	-4	206	Não
3	383	Não	2	506	Sim	2	227	Não
-3	757	Não	0	992	Não	-2	418	Não
9	146	Não	2	440	Não	1	1105	Não
-9	21	Não	0	851	Não	-1	1117	Não
1	819	Não	9	170	Não	1	754	Não
-5	363	Não	-9	167	Não	-4	302	Não
2	798	Sim	2	668	Sim	9	162	Não
-3	679	Não	-8	184	Não	-1	519	Não
5	259	Não	4	341	Não	1	1362	Não
-2	778	Não	-1	1336	Não	-6	341	Não
1	852	Não	1	997	Não	0	1231	Não
-1	718	Não	-1	996	Não	-1	496	Não
0	1356	Não	1	800	Não	9	197	Não
-2	531	Não	-8	109	Não	-4	265	Não
			9	82	Não			

(cont.) Tabela B.7: Subtrechos hipotéticos indicados para implantação de faixa adicional para um trecho hipotético com COG = 2

COG 2 - VII			COG 2- VIII		
Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?
1	568	Não	8	20	Não
-3	456	Não	0	1133	Não
1	750	Não	1	1135	Não
0	1393	Não	-2	450	Não
1	644	Não	0	1268	Não
0	854	Não	-9	83	Não
0	1197	Não	1	1190	Não
-1	818	Não	-1	1070	Não
8	43	Não	8	185	Não
0	1119	Não	-1	642	Não
1	1089	Não	1	1180	Não
-6	395	Não	-2	602	Não
2	431	Não	1	1042	Não
-6	243	Não			
COG 2 - IX			COG 2 - X		
Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?
0	1385	Não	1	984	Não
-1	1344	Não	0	862	Não
1	1280	Não	1	876	Não
-8	17	Não	-1	1210	Não
3	308	Não	2	723	Sim
-1	1012	Não	-3	755	Não
8	44	Não	1	916	Não
-2	711	Não	-3	304	Não
0	1377	Não	1	936	Não
-8	72	Não	-4	289	Não
1	662	Não	5	366	Não
-3	539	Não	-3	574	Não
1	1249	Não	2	293	Não
			-8	44	Não
			0	849	Não
			-9	19	Não

Tabela B.8: Subtrechos hipotéticos indicados para implantação de faixa adicional para um trecho hipotético com COG = 3

COG 3 - I			COG 3 - II			COG 3- III		
Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?
2	1295	Sim	1	1119	Não	1	997	Não
-6	223	Não	-2	1305	Não	-7	242	Não
2	1015	Sim	1	1030	Não	3	766	Sim
-1	1195	Não	-3	1041	Não	-3	822	Não
7	324	Não	1	1248	Não	2	601	Sim
-6	339	Não	-3	459	Não	-1	2028	Não
1	933	Não	1	1082	Não	2	1124	Sim
-2	1311	Não	-3	1062	Não	-1	1356	Não
2	787	Sim	2	1249	Sim	3	449	Sim
-6	400	Não	-4	405	Não	-6	241	Não
5	343	Não				1	1374	Não
-1	1529	Não						
6	306	Não						
COG 3 - IV			COG 3 - V			COG 3- VI		
Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?
2	708	Sim	2	708	Sim	1	1266	Não
-7	299	Não	-7	299	Não	-1	1154	Não
2	771	Sim	2	771	Sim	3	800	Sim
-7	395	Não	-7	395	Não	-7	332	Não
0	2392	Não	0	2392	Não	0	1514	Não
-2	1326	Não	-2	1326	Não	-1	1397	Não
1	1203	Não	1	1203	Não	1	864	Não
-1	1242	Não	-1	1242	Não	-7	352	Não
1	1244	Não	1	1244	Não	1	1504	Não
-4	420	Não	-4	420	Não	-2	817	Não

(cont.) Tabela B.8: Subtrechos hipotéticos indicados para implantação de faixa adicional para um trecho hipotético com COG = 3

COG 3 - VII			COG 3 - VIII		
Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?
1	809	Não	2	951	Não
-3	599	Não	-2	814	Não
2	1067	Sim	1	1241	Não
-2	1051	Não	-4	558	Não
2	893	Sim	1	1137	Não
-1	1021	Não	-7	356	Não
1	1499	Não	4	421	Não
-2	1051	Não	-3	408	Não
1	1011	Não	5	247	Não
-2	999	Não	-1	1225	Não
			3	431	Não
			-3	857	Não
			7	279	Não
			-1	1075	Não
COG 3 - IX			COG 3 - X		
Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?
4	556	Sim	4	526	Sim
-4	466	Não	-7	257	Não
7	264	Não	1	817	Não
0	1964	Não	-2	1259	Não
2	880	Sim	0	2111	Sim
-7	297	Não	-1	1305	Não
2	1013	Sim	1	1087	Não
-6	352	Não	-1	1211	Não
1	1409	Não	1	951	Não
-1	1526	Não	-3	476	Não
7	366	Não			
-3	907	Não			

Tabela B.9: Subtrechos hipotéticos indicados para implantação de faixa adicional para um trecho hipotético com COG = 4

COG 4 - I			COG 4 - II			COG 4- III		
Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?
4	458	Não	2	1104	Sim	2	835	Sim
-5	690	Não	-4	723	Não	-4	429	Não
5	485	Não	2	806	Sim	8	390	Não
-4	536	Não	-3	767	Não	-9	343	Não
6	401	Não	4	612	Sim	3	699	Sim
-8	329	Não	-4	716	Não	-4	790	Não
3	993	Sim	3	1152	Sim	4	506	Sim
-4	1121	Não	-4	922	Não	-5	707	Não
3	666	Sim	2	1111	Sim	5	478	Não
-2	1247	Não	-3	1356	Não	-4	821	Não
4	668	Sim	3	731	Sim	6	474	Não
-9	264	Não				-3	1079	Não
8	276	Não				3	1055	Sim
-3	1011	Não				-5	449	Não
3	855	Sim				3	945	Sim
COG 4 - IV			COG 4 - V			COG 4- VI		
Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?
2	1166	Sim	3	848	Sim	8	298	Não
-9	328	Não	-4	901	Não	-3	994	Não
4	587	Sim	4	531	Sim	3	998	Sim
-8	338	Não	-3	903	Não	-5	499	Não
2	1044	Sim	7	349	Não	2	828	Sim
-5	480	Não	-3	1222	Não	-4	957	Não
8	371	Não	9	286	Não	3	902	Sim
-5	669	Não	-4	695	Não	-5	646	Não
8	359	Não	3	891	Sim	6	407	Sim
-3	756	Não	-3	880	Não	-3	991	Não
3	1043	Sim	4	655	Sim	3	1043	Sim
-4	1072	Não	-4	897	Não	-5	781	Não
3	710	Sim	8	318	Não	3	656	Sim
-4	1077	Não	-4	624	Não			

(Cont.) Tabela B.9: Subtrechos hipotéticos indicados para implantação de faixa adicional para um trecho hipotético com COG = 4

COG 4 - VII			COG 4 - VIII		
Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?
9	242	Não	2	1200	Sim
-2	1261	Não	-4	686	Não
6	512	Sim	7	364	Não
-9	347	Não	-4	495	Não
2	1192	Sim	4	684	Sim
-4	605	Não	-3	715	Não
7	205	Não	3	799	Sim
-4	978	Não	-5	797	Não
8	260	Não	8	234	Não
-4	776	Não	-2	1260	Não
2	869	Sim	9	394	Não
-6	436	Não	-9	351	Não
3	946	Sim	4	629	Sim
-3	820	Não	-5	554	Não
4	551	Sim	4	406	Não
			-6	432	Não
COG 4 - IX			COG 4 - X		
Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?
-8	345	Não	3	812	Sim
3	836	Sim	-4	530	Não
-9	237	Não	8	257	Não
3	876	Sim	-5	529	Não
-3	883	Não	8	378	Sim
4	456	Não	-5	571	Não
-8	359	Não	6	453	Não
3	1110	Sim	-4	542	Não
-9	381	Não	3	897	Sim
2	917	Sim	-9	299	Não
-4	981	Não	2	879	Sim
4	758	Sim	-5	584	Não
-3	940	Não	3	857	Sim
6	431	Não	-8	203	Não
-6	490	Não	4	425	Não
			-3	971	Não
			2	813	Sim

Tabela B.10: Subtrechos hipotéticos indicados para implantação de faixa adicional para um trecho hipotético com COG = 4

COG 5 - I			COG 5 - II			COG 5- III		
Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?
9	847	Sim	7	1104	Sim	7	1740	Sim
-9	1389	Não	-6	723	Não	-6	1144	Não
9	670	Sim	2	806	Sim	8	1239	Sim
-7	1451	Não	-8	767	Não	-7	415	Não
9	482	Não	8	612	Sim	9	759	Sim
-9	1123	Não	-8	716	Não	-6	505	Não
7	581	Sim	9	1152	Sim	5	1328	Sim
-7	1020	Não	-5	922	Não	-5	999	Não
9	519	Sim	6	1111	Sim	7	508	Sim
-7	1918	Não				-3	1363	Não
COG 4 - IV			COG 4 - V			COG 4- VI		
Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?
7	555	Sim	5	1235	Sim	7	527	Sim
-9	1223	Não	-2	2156	Não	-8	845	Não
8	869	Sim	3	1170	Sim	9	811	Sim
-7	894	Não	-3	1295	Não	-6	1162	Não
6	999	Sim	8	1161	Sim	5	1172	Sim
-5	769	Não	-4	830	Não	-8	698	Não
7	736	Sim	9	607	Sim	6	409	Não
-7	1287	Não	-1	1546	Não	-4	890	Não
5	1069	Sim				8	542	Sim
-1	1642	Não				-6	994	Não
						6	821	Sim
						-7	565	Não
						8	564	Sim

(Cont.) Tabela B.10: Subtrechos hipotéticos indicados para implantação de faixa adicional para um trecho hipotético com COG = 5

COG 5 - VII			COG 5 - VIII		
Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?
8	1296	Sim	8	1005	Sim
-8	1088	Não	-7	462	Não
9	674	Sim	8	492	Não
-4	1024	Não	-8	826	Não
8	421	Não	5	739	Sim
-7	1352	Não	-8	493	Não
3	1072	Sim	6	581	Sim
-6	608	Não	-7	871	Não
3	1240	Sim	9	913	Sim
-8	1225	Não	-9	432	Não
			5	726	Sim
			-8	899	Não
			4	1561	Sim

COG 5 - IX			COG 5 - X		
Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?	Rampa (%)	Extensão (m)	Faixa Adicional?
4	933	Sim	9	1565	Sim
-5	971	Não	-7	520	Não
8	465	Não	3	1239	Sim
-6	429	Não	-9	501	Não
5	993	Sim	4	677	Sim
-5	942	Não	-7	1131	Não
9	649	Sim	9	857	Sim
-5	828	Não	-9	633	Não
4	1192	Sim	9	688	Sim
-4	802	Não	-9	404	Não
7	587	Sim	7	1785	Sim
-5	1209	Não			

## APÊNDICE C

Nesse Apêndice são representadas os Parâmetros  $a$  e o  $R^2$  para cada cenário de análise. As Tabelas C.1 a C.4 - Modelo Base, enquanto as Tabelas C.5 a C.8 - modelo quadrático.

Tabela C.1: Parâmetros do Modelo Base de  $FD_d$  - Modelo Linear

$P_{hv} = 0\%$										
$FFS$ (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$								
70	0,0118	0,9291	0,0105	0,9605	0,0116	0,9802	0,0183	0,9888	0,0188	0,9838
80	0,0111	0,9519	0,0098	0,9537	0,0107	0,9753	0,0172	0,9818	0,0176	0,9662
90	0,0106	0,9602	0,0094	0,9757	0,0102	0,9586	0,0164	0,9836	0,0166	0,9707
100	0,0100	0,9644	0,0090	0,9794	0,0097	0,9721	0,0156	0,9578	0,0159	0,9582
110	0,0098	0,9613	0,0088	0,9696	0,0094	0,9715	0,0150	0,9642	0,0153	0,9661
$P_{hv} = 10\%$										
$FFS$ (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$								
70	0,0128	0,9710	0,0108	0,9284	0,0121	0,9616	0,0182	0,9827	0,0180	0,9903
80	0,0123	0,9858	0,0104	0,9543	0,0116	0,9630	0,0174	0,9831	0,0172	0,9847
90	0,0117	0,9854	0,0100	0,9618	0,0111	0,9761	0,0169	0,9665	0,0170	0,9905
100	0,0112	0,9850	0,0095	0,9653	0,0106	0,9834	0,0162	0,9784	0,0164	0,9569
110	0,0112	0,9912	0,0095	0,9618	0,0106	0,9790	0,0160	0,9842	0,0159	0,9681
$P_{hv} = 20\%$										
$FFS$ (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$								
70	0,0129	0,9866	0,0111	0,9724	0,0125	0,9288	0,0183	0,9646	0,0184	0,9821
80	0,0123	0,9884	0,0106	0,9882	0,0117	0,9541	0,0179	0,9643	0,0181	0,9821
90	0,0121	0,9876	0,0105	0,9850	0,0115	0,9635	0,0175	0,9770	0,0175	0,9681
100	0,0116	0,9646	0,0100	0,9855	0,0110	0,9669	0,0166	0,9825	0,0169	0,9763
110	0,0114	0,9671	0,0098	0,9911	0,0108	0,9629	0,0161	0,9796	0,0163	0,9824
$P_{hv} = 30\%$										
$FFS$ (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$								
70	0,0134	0,9902	0,0113	0,9848	0,0124	0,9722	0,0173	0,9288	0,0172	0,9634
80	0,0128	0,9845	0,0108	0,9881	0,0120	0,9858	0,0173	0,9492	0,0168	0,9654
90	0,0126	0,9910	0,0107	0,9912	0,0119	0,9837	0,0170	0,9600	0,0164	0,9750
100	0,0123	0,9582	0,0103	0,9696	0,0115	0,9875	0,0163	0,9656	0,0161	0,9826
110	0,0119	0,9665	0,0100	0,9665	0,0112	0,9922	0,0159	0,9641	0,0157	0,9790
$P_{hv} = 40\%$										
$FFS$ (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$								
70	0,0126	0,9822	0,0112	0,9892	0,0121	0,9843	0,0168	0,9724	0,0157	0,9294
80	0,0121	0,9810	0,0107	0,9852	0,0116	0,9858	0,0168	0,9849	0,0155	0,9539
90	0,0118	0,9662	0,0105	0,9903	0,0113	0,9893	0,0166	0,9838	0,0153	0,9602
100	0,0116	0,9747	0,0102	0,9604	0,0111	0,9717	0,0161	0,9865	0,0150	0,9652
110	0,0113	0,9818	0,0100	0,9714	0,0108	0,9664	0,0157	0,9908	0,0145	0,9647
$P_{hv} = 50\%$										
$FFS$ (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$								
70	0,0130	0,9635	0,0109	0,9815	0,0120	0,9896	0,0150	0,9845	0,0142	0,9708
80	0,0124	0,9664	0,0105	0,9808	0,0116	0,9842	0,0149	0,9852	0,0142	0,9835
90	0,0122	0,9761	0,0104	0,9652	0,0114	0,9895	0,0149	0,9869	0,0141	0,9821
100	0,0119	0,9833	0,0101	0,9766	0,0111	0,9593	0,0145	0,9677	0,0138	0,9842
110	0,0116	0,9772	0,0099	0,9834	0,0109	0,9743	0,0140	0,9652	0,0133	0,9894

Tabela C.2: Parâmetros do Faixa Adicional de  $FD_d$  - Modelo Linear

$P_{hv} = 0\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>								
70	0,0000	0,0000	0,0105	0,9492	0,0116	0,9703	0,0156	0,9366	0,0150	0,9483
80	0,0000	0,0000	0,0098	0,9705	0,0108	0,9524	0,0148	0,9632	0,0141	0,9503
90	0,0000	0,0000	0,0094	0,9742	0,0102	0,9593	0,0140	0,9553	0,0134	0,933
100	0,0000	0,0000	0,0090	0,9629	0,0098	0,9648	0,0133	0,945	0,0127	0,9697
110	0,0000	0,0000	0,0088	0,9715	0,0094	0,9812	0,0129	0,9637	0,0122	0,9676
$P_{hv} = 10\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>								
70	0,0000	0,0000	0,0107	0,9716	0,0121	0,9702	0,0148	0,9643	0,0145	0,9627
80	0,0000	0,0000	0,0104	0,9700	0,0113	0,979	0,0139	0,965	0,0136	0,9543
90	0,0000	0,0000	0,0100	0,9651	0,0109	0,9722	0,0133	0,9745	0,0129	0,9468
100	0,0000	0,0000	0,0095	0,9681	0,0103	0,9761	0,0127	0,9804	0,0123	0,9648
110	0,0000	0,0000	0,0094	0,9609	0,0101	0,9778	0,0123	0,9383	0,0119	0,9659
$P_{hv} = 20\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	A	R <sup>2</sup>								
70	0,0000	0,0000	0,0109	0,9667	0,0121	0,9714	0,0141	0,9764	0,0139	0,9667
80	0,0000	0,0000	0,0104	0,9379	0,0113	0,9681	0,0136	0,9714	0,0133	0,9744
90	0,0000	0,0000	0,0103	0,9697	0,0110	0,9715	0,0131	0,9753	0,0127	0,9796
100	0,0000	0,0000	0,0098	0,9699	0,0105	0,9624	0,0125	0,9758	0,0124	0,9357
110	0,0000	0,0000	0,0096	0,9732	0,0103	0,9728	0,0121	0,9644	0,0119	0,9523
$P_{hv} = 30\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>								
70	0,0000	0,0000	0,0112	0,9556	0,0120	0,941	0,0135	0,9711	0,0131	0,9701
80	0,0000	0,0000	0,0107	0,9487	0,0116	0,9696	0,0133	0,9743	0,0126	0,9746
90	0,0000	0,0000	0,0105	0,9643	0,0113	0,9694	0,0127	0,9626	0,0121	0,9749
100	0,0000	0,0000	0,0101	0,9672	0,0109	0,973	0,0122	0,9718	0,0118	0,9636
110	0,0000	0,0000	0,0098	0,9667	0,0105	0,9724	0,0118	0,9768	0,0115	0,9627
$P_{hv} = 40\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>								
70	0,0000	0,0000	0,0111	0,9725	0,0112	0,9525	0,0131	0,9688	0,0125	0,9741
80	0,0000	0,0000	0,0106	0,9789	0,0106	0,9675	0,0131	0,9715	0,0121	0,9632
90	0,0000	0,0000	0,0104	0,929	0,0103	0,9691	0,0125	0,9729	0,0118	0,968
100	0,0000	0,0000	0,0101	0,946	0,0099	0,9689	0,0120	0,9715	0,0115	0,9766
110	0,0000	0,0000	0,0098	0,9564	0,0096	0,9448	0,0116	0,968	0,0112	0,9684
$P_{hv} = 50\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>								
70	0,0000	0,0000	0,0108	0,9727	0,0117	0,9765	0,0116	0,9652	0,0118	0,9704
80	0,0000	0,0000	0,0104	0,9732	0,0111	0,928	0,0113	0,9662	0,0115	0,9733
90	0,0000	0,0000	0,0102	0,9629	0,0108	0,9421	0,0111	0,9644	0,0112	0,9711
100	0,0000	0,0000	0,0099	0,9632	0,0103	0,9555	0,0106	0,9411	0,0110	0,9656
110	0,0000	0,0000	0,0097	0,9736	0,0099	0,952	0,0102	0,9694	0,0105	0,9746

Tabela C.3: Parâmetros do Modelo 50% NPZ de  $FD_d$  - Modelo Linear

$P_{hv} = 0\%$

FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	A	R <sup>2</sup>								
70	0,0128	0,9614	0,0110	0,9706	0,0121	0,9698	0,0211	0,9744	0,0200	0,9910
80	0,0121	0,9670	0,0103	0,9644	0,0113	0,9553	0,0201	0,9638	0,0189	0,9711
90	0,0115	0,9707	0,0098	0,9736	0,0108	0,9526	0,0189	0,9647	0,0179	0,9711
100	0,0109	0,9740	0,0093	0,9707	0,0103	0,9635	0,0181	0,9829	0,0171	0,9632
110	0,0106	0,9712	0,0090	0,9569	0,0100	0,9598	0,0173	0,9809	0,0164	0,9851
<i>P<sub>hv</sub> = 10%</i>										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>								
70	0,0133	0,9825	0,0112	0,9617	0,0125	0,9713	0,0202	0,9738	0,0188	0,9733
80	0,0125	0,9896	0,0105	0,9674	0,0118	0,9658	0,0192	0,9696	0,0179	0,9643
90	0,0120	0,9864	0,0101	0,9712	0,0113	0,9722	0,0185	0,9592	0,0172	0,9717
100	0,0114	0,9858	0,0096	0,9750	0,0108	0,9716	0,0176	0,9636	0,0165	0,9827
110	0,0111	0,9908	0,0094	0,9724	0,0104	0,9674	0,0170	0,9656	0,0160	0,9817
<i>P<sub>hv</sub> = 20%</i>										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>								
70	0,0130	0,9903	0,0111	0,9829	0,0127	0,9596	0,0196	0,9707	0,0182	0,9709
80	0,0123	0,9903	0,0105	0,9892	0,0119	0,9660	0,0188	0,9674	0,0176	0,9691
90	0,0119	0,9905	0,0101	0,9858	0,0114	0,9711	0,0182	0,9714	0,0170	0,9585
100	0,0114	0,9641	0,0096	0,9860	0,0109	0,9742	0,0172	0,9708	0,0164	0,9615
110	0,0111	0,9848	0,0094	0,9909	0,0106	0,9716	0,0167	0,9650	0,0158	0,9642
<i>P<sub>hv</sub> = 30%</i>										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>								
70	0,0132	0,9726	0,0110	0,9887	0,0124	0,9810	0,0180	0,9586	0,0168	0,9699
80	0,0126	0,9629	0,0105	0,9890	0,0119	0,9882	0,0179	0,9650	0,0163	0,9656
90	0,0121	0,9712	0,0101	0,9906	0,0114	0,9840	0,0173	0,9696	0,0159	0,9707
100	0,0117	0,9811	0,0097	0,9658	0,0110	0,9851	0,0166	0,9729	0,0154	0,9715
110	0,0114	0,9803	0,0094	0,9846	0,0107	0,9908	0,0162	0,9704	0,0150	0,9635
<i>Phv = 40%</i>										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	A	R <sup>2</sup>								
70	0,0125	0,9695	0,0108	0,9710	0,0121	0,9871	0,0173	0,9786	0,0153	0,9575
80	0,0119	0,9673	0,0103	0,9604	0,0114	0,9874	0,0172	0,9871	0,0149	0,9653
90	0,0115	0,9579	0,0099	0,9701	0,0110	0,9901	0,0167	0,9818	0,0146	0,969
100	0,0111	0,9594	0,0096	0,9802	0,0106	0,9690	0,0161	0,9839	0,0142	0,9719
110	0,0109	0,9640	0,0094	0,9796	0,0103	0,9831	0,0157	0,9789	0,0139	0,9700
<i>P<sub>hv</sub> = 50%</i>										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>								
70	0,0126	0,9691	0,0105	0,9686	0,0118	0,9711	0,0154	0,9848	0,0137	0,9764
80	0,0120	0,9620	0,0101	0,9677	0,0112	0,9592	0,0151	0,9838	0,0135	0,9846
90	0,0117	0,9652	0,0097	0,9554	0,0109	0,9672	0,0149	0,9872	0,0133	0,9812
100	0,0112	0,9703	0,0093	0,9583	0,0105	0,9791	0,0144	0,9667	0,0129	0,9814
110	0,0110	0,9629	0,0091	0,9629	0,0102	0,9783	0,0140	0,9826	0,0125	0,9894



Tabela C.4: Parâmetros do Modelo 100% NPZ de  $FD_d$  - Modelo Linear  $P_{hv} = 0\%$

FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>								
70	0,0118	0,9385	0,0182	0,9573	0,0190	0,9844	0,0242	0,9703	0,0242	0,9983
80	0,0112	0,9519	0,0175	0,9857	0,0187	0,9776	0,0228	0,9857	0,0228	0,9735
90	0,0107	0,9573	0,0165	0,9919	0,0176	0,9745	0,0215	0,9836	0,0216	0,9769
100	0,0101	0,9639	0,0158	0,9906	0,0168	0,9884	0,0204	0,9980	0,0204	0,9936
110	0,0098	0,9563	0,0152	0,9740	0,0162	0,9829	0,0195	0,9974	0,0195	0,9936
$P_{hv} = 10\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>								
70	0,0126	0,9901	0,0178	0,9405	0,0189	0,9580	0,0229	0,9947	0,0227	0,9898
80	0,0120	0,9947	0,0170	0,9531	0,0179	0,9895	0,0217	0,9947	0,0216	0,9940
90	0,0115	0,9898	0,0162	0,9578	0,0171	0,9926	0,0207	0,9896	0,0208	0,9926
100	0,0109	0,9875	0,0155	0,9655	0,0164	0,9941	0,0196	0,9905	0,0198	0,9974
110	0,0108	0,9910	0,0151	0,9573	0,0158	0,9930	0,0189	0,9902	0,0192	0,9968
$P_{hv} = 20\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>								
70	0,0126	0,9978	0,0169	0,9894	0,0184	0,9357	0,0214	0,9586	0,0214	0,9955
80	0,0120	0,9983	0,0161	0,9941	0,0172	0,9516	0,0204	0,9904	0,0206	0,9954
90	0,0117	0,9982	0,0154	0,9890	0,0165	0,9579	0,0196	0,9935	0,0199	0,9904
100	0,0112	0,9921	0,0148	0,9870	0,0157	0,9662	0,0187	0,9947	0,0191	0,9910
110	0,0110	0,9935	0,0144	0,9913	0,0153	0,9582	0,0181	0,9941	0,0185	0,9909
$P_{hv} = 30\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>								
70	0,0130	0,9907	0,0163	0,9969	0,0171	0,9873	0,0196	0,9378	0,0193	0,9577
80	0,0125	0,9942	0,0158	0,9974	0,0167	0,9936	0,0193	0,9494	0,0186	0,9914
90	0,0122	0,9924	0,0151	0,9977	0,0161	0,9884	0,0186	0,9569	0,0182	0,9919
100	0,0118	0,9964	0,0145	0,9890	0,0155	0,9869	0,0179	0,9662	0,0176	0,9945
110	0,0114	0,9954	0,0141	0,9927	0,0151	0,9913	0,0174	0,9582	0,0172	0,9940
$P_{hv} = 40\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>								
70	0,0122	0,9954	0,0163	0,9897	0,0174	0,9954	0,0184	0,9854	0,0174	0,9363
80	0,0116	0,9956	0,0156	0,9943	0,0165	0,9956	0,0182	0,9918	0,0170	0,9506
90	0,0113	0,9914	0,0149	0,9931	0,0158	0,9966	0,0177	0,9865	0,0166	0,9591
100	0,0111	0,9907	0,0143	0,9944	0,0151	0,9855	0,0169	0,9854	0,0161	0,9641
110	0,0108	0,9912	0,0140	0,9932	0,0148	0,9918	0,0165	0,9903	0,0157	0,9588
$P_{hv} = 50\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	R <sup>2</sup>								
70	0,0125	0,9559	0,0156	0,9952	0,0166	0,9897	0,0167	0,9924	0,0155	0,9827
80	0,0120	0,9898	0,0150	0,9938	0,0158	0,9933	0,0164	0,9924	0,0153	0,9904
90	0,0117	0,9914	0,0143	0,9907	0,0152	0,9922	0,0159	0,9940	0,0149	0,9856
100	0,0113	0,9934	0,0137	0,9896	0,0146	0,9920	0,0152	0,9798	0,0145	0,9832
110	0,0112	0,9928	0,0134	0,9899	0,0143	0,9909	0,0148	0,9912	0,0140	0,9894

Tabela C.5: Parâmetros do Modelo Base de  $FD_d$  - Modelo Quadrático

$P_{hv} = 0\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$								
70	0,000007	0,9271	0,000006	0,9507	0,000007	0,9665	0,000012	0,9683	0,000012	0,9738
80	0,000007	0,9440	0,000006	0,9460	0,000006	0,9430	0,000011	0,9523	0,000011	0,9425
90	0,000007	0,9392	0,000006	0,9709	0,000006	0,9613	0,000010	0,9513	0,000010	0,9426
100	0,000007	0,9429	0,000006	0,9549	0,000006	0,9755	0,000010	0,9886	0,000010	0,9266
110	0,000006	0,9180	0,000006	0,9499	0,000006	0,9522	0,000010	0,9757	0,000010	0,9871
$P_{hv} = 10\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$								
70	0,000008	0,9858	0,000007	0,9288	0,000008	0,9524	0,000011	0,9662	0,000011	0,9703
80	0,000008	0,9770	0,000007	0,9462	0,000007	0,9648	0,000011	0,9499	0,000011	0,9504
90	0,000008	0,9718	0,000007	0,9384	0,000007	0,9711	0,000011	0,9746	0,000011	0,9565
100	0,000007	0,9648	0,000006	0,9429	0,000007	0,9615	0,000010	0,9808	0,000011	0,9895
110	0,000007	0,9590	0,000006	0,9174	0,000007	0,9595	0,000010	0,9597	0,000010	0,9757
$P_{hv} = 20\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$								
70	0,000008	0,9742	0,000007	0,9845	0,000008	0,9336	0,000011	0,9524	0,000011	0,9687
80	0,000008	0,9724	0,000007	0,9753	0,000007	0,9487	0,000011	0,9678	0,000011	0,9496
90	0,000008	0,9672	0,000007	0,9708	0,000007	0,9416	0,000011	0,9740	0,000011	0,9780
100	0,000008	0,9304	0,000006	0,9646	0,000007	0,9448	0,000010	0,9605	0,000011	0,9825
110	0,000008	0,9884	0,000006	0,9601	0,000007	0,9213	0,000010	0,9606	0,000010	0,9606
$P_{hv} = 30\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$								
70	0,000008	0,9695	0,000008	0,9741	0,000007	0,9855	0,000010	0,9382	0,000011	0,9550
80	0,000008	0,9550	0,000007	0,9717	0,000007	0,9769	0,000010	0,9506	0,000011	0,9722
90	0,000008	0,9576	0,000007	0,9670	0,000007	0,9731	0,000010	0,9474	0,000011	0,9780
100	0,000008	0,9889	0,000007	0,9351	0,000007	0,9625	0,000010	0,9485	0,000011	0,9680
110	0,000008	0,9780	0,000007	0,9884	0,000007	0,9600	0,000009	0,9252	0,000011	0,9633
$P_{hv} = 40\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$								
70	0,000008	0,9680	0,000007	0,9731	0,000008	0,9770	0,000010	0,9853	0,000010	0,9410
80	0,000008	0,9515	0,000007	0,9576	0,000007	0,9733	0,000010	0,9776	0,000010	0,9510
90	0,000008	0,9817	0,000007	0,9603	0,000007	0,9670	0,000010	0,9707	0,000010	0,9461
100	0,000008	0,9857	0,000007	0,9900	0,000007	0,9370	0,000010	0,9623	0,000010	0,9505
110	0,000008	0,9662	0,000007	0,9813	0,000007	0,9884	0,000010	0,9597	0,000010	0,9279
$P_{hv} = 50\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$								
70	0,000008	0,9552	0,000007	0,9694	0,000007	0,9746	0,000009	0,9757	0,000009	0,9865
80	0,000008	0,9737	0,000007	0,9539	0,000007	0,9572	0,000009	0,9757	0,000009	0,9781
90	0,000008	0,9755	0,000007	0,9820	0,000007	0,9609	0,000009	0,9687	0,000009	0,9732

100	0,000008	0,9647	0,000007	0,9830	0,000007	0,9891	0,000009	0,9375	0,000009	0,9633
110	0,000007	0,9641	0,000006	0,9653	0,000007	0,9770	0,000008	0,9880	0,000009	0,9610

Tabela C.6: Parâmetros do Faixa Adicional de  $FD_d$  - Modelo Quadrático

$P_{hv} = 0\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$								
70	0,000000	0,0000	0,000006	0,9413	0,000007	0,9438	0,000010	0,931	0,000009	0,9566
80	0,000000	0,0000	0,000006	0,9694	0,000007	0,9531	0,000009	0,9604	0,000009	0,9557
90	0,000000	0,0000	0,000006	0,9487	0,000006	0,9692	0,000009	0,9872	0,000008	0,9369
100	0,000000	0,0000	0,000006	0,9479	0,000006	0,956	0,000009	0,983	0,000008	0,9867
110	0,000000	0,0000	0,000006	0,9671	0,000006	0,9725	0,000008	0,9778	0,000008	0,9884
$P_{hv} = 10\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$								
70	0,000000	0,0000	0,000007	0,9842	0,000008	0,9694	0,000009	0,9693	0,000009	0,9581
80	0,000000	0,0000	0,000007	0,9825	0,000007	0,958	0,000009	0,9749	0,000009	0,9876
90	0,000000	0,0000	0,000007	0,9819	0,000007	0,9586	0,000008	0,9647	0,000008	0,9834
100	0,000000	0,0000	0,000006	0,9792	0,000007	0,9707	0,000008	0,9714	0,000008	0,9795
110	0,000000	0,0000	0,000006	0,961	0,000007	0,9507	0,000008	0,9313	0,000008	0,98
$P_{hv} = 20\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$								
70	0,000000	0,0000	0,000007	0,9779	0,000008	0,983	0,000009	0,9558	0,000009	0,977
80	0,000000	0,0000	0,000007	0,939	0,000007	0,9824	0,000008	0,9585	0,000008	0,9654
90	0,000000	0,0000	0,000007	0,988	0,000007	0,9801	0,000008	0,972	0,000008	0,971
100	0,000000	0,0000	0,000006	0,9879	0,000007	0,965	0,000008	0,9493	0,000008	0,931
110	0,000000	0,0000	0,000006	0,9848	0,000007	0,9736	0,000008	0,9719	0,000008	0,9465
$P_{hv} = 30\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$								
70	0,000000	0,0000	0,000007	0,9877	0,000007	0,9402	0,000008	0,9816	0,000009	0,9605
80	0,000000	0,0000	0,000007	0,9849	0,000007	0,9878	0,000008	0,9807	0,000008	0,9714
90	0,000000	0,0000	0,000007	0,9783	0,000007	0,988	0,000008	0,969	0,000008	0,9511
100	0,000000	0,0000	0,000007	0,9802	0,000007	0,985	0,000007	0,9774	0,000008	0,9752
110	0,000000	0,0000	0,000007	0,9781	0,000007	0,9832	0,000007	0,9625	0,000008	0,9798
$P_{hv} = 40\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$								
70	0,000000	0,0000	0,000007	0,9688	0,000007	0,9863	0,000008	0,9879	0,000008	0,9824
80	0,000000	0,0000	0,000007	0,971	0,000007	0,9803	0,000008	0,9894	0,000008	0,9706
90	0,000000	0,0000	0,000007	0,9256	0,000007	0,9813	0,000008	0,9868	0,000008	0,9725
100	0,000000	0,0000	0,000007	0,9414	0,000006	0,9796	0,000007	0,9836	0,000008	0,9603
110	0,000000	0,0000	0,000007	0,9877	0,000006	0,9413	0,000007	0,9843	0,000008	0,9617
$P_{hv} = 50\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$								
70	0,000000	0,0000	0,000007	0,972	0,000007	0,9713	0,000007	0,9787	0,000007	0,9896
80	0,000000	0,0000	0,000007	0,9531	0,000007	0,9255	0,000007	0,9811	0,000007	0,9878
90	0,000000	0,0000	0,000007	0,9757	0,000007	0,9385	0,000007	0,9795	0,000007	0,9852

100	0,000000	0,0000	0,000006	0,9796	0,000007	0,9858	0,000006	0,9385	0,000007	0,983
110	0,000000	0,0000	0,000006	0,9688	0,000007	0,9851	0,000006	0,9875	0,000007	0,983

Tabela C.7: Parâmetros do Modelo 50% NPZ de  $FD_d$  - Modelo Quadrático

$P_{hv} = 0\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$								
70	0,000008	0,9421	0,000007	0,9504	0,000007	0,9530	0,000013	0,9529	0,000012	0,9742
80	0,000008	0,9463	0,000006	0,9234	0,000007	0,9199	0,000013	0,9370	0,000012	0,9438
90	0,000008	0,9454	0,000006	0,9546	0,000007	0,9284	0,000012	0,9422	0,000011	0,9389
100	0,000007	0,9504	0,000006	0,9399	0,000006	0,9589	0,000012	0,9815	0,000011	0,9293
110	0,000007	0,9304	0,000006	0,9336	0,000006	0,9323	0,000011	0,9743	0,000010	0,9773
$P_{hv} = 10\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$								
70	0,000009	0,9798	0,000007	0,9455	0,000008	0,9520	0,000013	0,9567	0,000012	0,9533
80	0,000008	0,9732	0,000007	0,9480	0,000008	0,9323	0,000012	0,9353	0,000011	0,9371
90	0,000008	0,9662	0,000007	0,9469	0,000007	0,9546	0,000012	0,9363	0,000011	0,9472
100	0,000008	0,9602	0,000006	0,9538	0,000007	0,9447	0,000011	0,9623	0,000011	0,9813
110	0,000007	0,9550	0,000006	0,9316	0,000007	0,9447	0,000011	0,9387	0,000010	0,9746
$P_{hv} = 20\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$								
70	0,000008	0,9744	0,000007	0,9799	0,000008	0,9486	0,000012	0,9521	0,000011	0,9581
80	0,000008	0,9731	0,000007	0,9742	0,000008	0,9507	0,000012	0,9385	0,000011	0,9386
90	0,000008	0,9658	0,000006	0,9674	0,000007	0,9521	0,000011	0,9579	0,000011	0,9403
100	0,000008	0,9301	0,000006	0,9602	0,000007	0,9545	0,000011	0,9463	0,000010	0,9640
110	0,000007	0,9777	0,000006	0,9556	0,000007	0,9355	0,000010	0,9474	0,000010	0,9410
$P_{hv} = 30\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$								
70	0,000008	0,9544	0,000007	0,9755	0,000007	0,9813	0,000011	0,9527	0,000011	0,9566
80	0,000008	0,9394	0,000007	0,9741	0,000007	0,9755	0,000010	0,9539	0,000011	0,9425
90	0,000008	0,9507	0,000007	0,9675	0,000007	0,9688	0,000010	0,9551	0,000011	0,9612
100	0,000007	0,9820	0,000007	0,9329	0,000007	0,9617	0,000010	0,9562	0,000010	0,9506
110	0,000007	0,9760	0,000006	0,9785	0,000007	0,9587	0,000010	0,9388	0,000010	0,9503
$P_{hv} = 40\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$								
70	0,000008	0,9609	0,000007	0,9571	0,000008	0,9756	0,000010	0,9824	0,000010	0,9542
80	0,000008	0,9395	0,000007	0,9406	0,000007	0,9755	0,000010	0,9760	0,000010	0,9552
90	0,000008	0,9444	0,000007	0,9536	0,000007	0,9687	0,000010	0,9698	0,000010	0,9560
100	0,000007	0,9662	0,000006	0,9830	0,000007	0,9379	0,000010	0,9621	0,000009	0,9575
110	0,000007	0,9432	0,000006	0,9774	0,000007	0,9800	0,000010	0,9587	0,000009	0,9401
$P_{hv} = 50\%$										
FFS (km/h)	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$								
70	0,000008	0,9569	0,000007	0,9621	0,000007	0,9577	0,000009	0,9775	0,000009	0,9833
80	0,000007	0,9428	0,000006	0,9439	0,000007	0,9426	0,000009	0,9769	0,000009	0,9765
90	0,000007	0,9609	0,000006	0,9467	0,000007	0,9544	0,000009	0,9564	0,000008	0,9714
100	0,000007	0,9497	0,000006	0,9669	0,000007	0,9830	0,000009	0,9398	0,000008	0,9630

110	0,000007	0,9506	0,000006	0,9450	0,000007	0,9776	0,000008	0,9796	0,000008	0,9600
-----	----------	--------	----------	--------	----------	--------	----------	--------	----------	--------

Tabela C.8: Parâmetros do Modelo 100% NPZ de  $FD_d$  - Modelo Quadrático  $P_{hv} = 0\%$

<b>FFS (km/h)</b>	<b>COG = 1</b>		<b>COG = 2</b>		<b>COG = 3</b>		<b>COG = 4</b>		<b>COG = 5</b>	
	<b>a</b>	<b>R<sup>2</sup></b>								
70	0,000008	0,9374	0,000011	0,9496	0,000011	0,9311	0,000015	0,9290	0,000015	0,9637
80	0,000007	0,9391	0,000011	0,9200	0,000011	0,9191	0,000014	0,9310	0,000014	0,9258
90	0,000007	0,9385	0,000010	0,9399	0,000011	0,9238	0,000014	0,9307	0,000013	0,9333
100	0,000007	0,9467	0,000010	0,9500	0,000010	0,9435	0,000013	0,9520	0,000013	0,9485
110	0,000007	0,9200	0,000010	0,9176	0,000010	0,9306	0,000013	0,9555	0,000012	0,9540
<b>P<sub>hv</sub> = 10%</b>										
<b>FFS (km/h)</b>	<b>COG = 1</b>		<b>COG = 2</b>		<b>COG = 3</b>		<b>COG = 4</b>		<b>COG = 5</b>	
	<b>a</b>	<b>R<sup>2</sup></b>								
70	0,000008	0,9615	0,000011	0,9421	0,000012	0,9495	0,000014	0,9412	0,000014	0,9530
80	0,000008	0,9569	0,000011	0,9421	0,000011	0,9269	0,000014	0,9369	0,000014	0,9390
90	0,000008	0,9488	0,000010	0,9385	0,000011	0,9450	0,000013	0,9381	0,000013	0,9405
100	0,000007	0,9442	0,000010	0,9487	0,000011	0,9558	0,000013	0,9500	0,000013	0,9556
110	0,000007	0,9458	0,000010	0,9194	0,000010	0,9390	0,000012	0,9377	0,000013	0,9577
<b>P<sub>hv</sub> = 20%</b>										
<b>FFS (km/h)</b>	<b>COG = 1</b>		<b>COG = 2</b>		<b>COG = 3</b>		<b>COG = 4</b>		<b>COG = 5</b>	
	<b>a</b>	<b>R<sup>2</sup></b>								
70	0,000008	0,9651	0,000010	0,9633	0,000011	0,9425	0,000013	0,9502	0,000013	0,9471
80	0,000008	0,9633	0,000010	0,9583	0,000011	0,9433	0,000012	0,9373	0,000013	0,9443
90	0,000008	0,9625	0,000010	0,9504	0,000010	0,9431	0,000012	0,9531	0,000012	0,9439
100	0,000008	0,9460	0,000009	0,9442	0,000010	0,9494	0,000012	0,9602	0,000012	0,9549
110	0,000007	0,9558	0,000009	0,9465	0,000010	0,9228	0,000011	0,9473	0,000012	0,9458
<b>P<sub>hv</sub> = 30%</b>										
<b>FFS (km/h)</b>	<b>COG = 1</b>		<b>COG = 2</b>		<b>COG = 3</b>		<b>COG = 4</b>		<b>COG = 5</b>	
	<b>a</b>	<b>R<sup>2</sup></b>								
70	0,000008	0,9590	0,000011	0,9673	0,000010	0,9656	0,000012	0,9488	0,000013	0,9514
80	0,000008	0,9462	0,000010	0,9660	0,000010	0,9611	0,000011	0,9457	0,000012	0,9488
90	0,000008	0,9464	0,000010	0,9645	0,000010	0,9541	0,000011	0,9460	0,000012	0,9586
100	0,000007	0,9590	0,000010	0,9456	0,000009	0,9467	0,000011	0,9522	0,000012	0,9667
110	0,000007	0,9619	0,000010	0,9594	0,000009	0,9476	0,000011	0,9255	0,000011	0,9542
<b>Phv = 40%</b>										
<b>FFS (km/h)</b>	<b>COG = 1</b>		<b>COG = 2</b>		<b>COG = 3</b>		<b>COG = 4</b>		<b>COG = 5</b>	
	<b>a</b>	<b>R<sup>2</sup></b>								
70	0,000008	0,9522	0,000010	0,9635	0,000011	0,9703	0,000011	0,9680	0,000011	0,9488
80	0,000008	0,9510	0,000010	0,9533	0,000010	0,9699	0,000011	0,9625	0,000011	0,9462
90	0,000007	0,9546	0,000010	0,9512	0,000010	0,9662	0,000011	0,9554	0,000011	0,9470
100	0,000007	0,9629	0,000009	0,9630	0,000010	0,9446	0,000010	0,9491	0,000010	0,9532
110	0,000007	0,9526	0,000009	0,9662	0,000010	0,9628	0,000010	0,9490	0,000010	0,9277
<b>P<sub>hv</sub> = 50%</b>										
<b>FFS (km/h)</b>	<b>COG = 1</b>		<b>COG = 2</b>		<b>COG = 3</b>		<b>COG = 4</b>		<b>COG = 5</b>	
	<b>a</b>	<b>R<sup>2</sup></b>								
70	0,000008	0,9520	0,000010	0,9594	0,000010	0,9674	0,000010	0,9734	0,000010	0,9711
80	0,000007	0,9510	0,000009	0,9588	0,000010	0,9603	0,000010	0,9729	0,000010	0,9648
90	0,000007	0,9640	0,000009	0,9574	0,000009	0,9572	0,000009	0,9699	0,000009	0,9593
100	0,000007	0,9700	0,000009	0,9644	0,000009	0,9653	0,000009	0,9447	0,000009	0,9515
110	0,000007	0,9608	0,000009	0,9573	0,000009	0,9671	0,000009	0,9634	0,000009	0,9505

## APÊNDICE D

Nesse Apêndice são apresentados os fatores de ajuste para cada COG (Faixa Adicional e NPZ). As Tabelas D.1 a D.10 apresentam o fator de ajuste para o modelo linear. As Tabelas D.11 a D.20 são referentes ao Modelo Quadrático.

Figura D.1: Fator de ajuste para faixas adicionais de Subida - COG 1 – Modelo Linear

		<i>Phv (%)</i>					
		0	10	20	30	40	50
<i>qd(veic/h)</i>		<i>FFSd = 70km/h</i>					
200	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
400	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
600	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
800	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1200	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1400	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1600	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1800	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
<i>qd(veic/h)</i>		<i>FFSd = 80 km/h</i>					
200	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
400	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
600	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
800	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1200	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1400	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1600	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1800	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
<i>qd(veic/h)</i>		<i>FFSd = 90 km/h</i>					
200	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
400	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
600	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
800	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1200	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1400	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1600	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1800	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
<i>qd(veic/h)</i>		<i>FFSd = 100 km/h</i>					
200	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
400	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
600	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
800	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1200	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1400	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1600	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1800	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
<i>qd(veic/h)</i>		<i>FFSd = 110 km/h</i>					
200	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
400	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
600	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
800	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1200	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	

1400	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1600	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1800	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Figura D.2: Fator de ajuste para faixas adicionais de Subida - COG 2 – Modelo Linear

<i>Phv (%)</i>						
	<i>0</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>30</i>	<i>40</i>	<i>50</i>
<i>qd(veic/h)</i>	<i>FFSd = 70km/h</i>					
200	0,0007	0,0068	0,0328	0,0271	0,0269	0,0306
400	0,0014	0,0136	0,0655	0,0543	0,0537	0,0611
600	0,0021	0,0204	0,0983	0,0814	0,0806	0,0917
800	0,0028	0,0272	0,1311	0,1086	0,1075	0,1222
1000	0,0035	0,0340	0,1639	0,1357	0,1343	0,1528
1200	0,0042	0,0408	0,1966	0,1629	0,1612	0,1833
1400	0,0049	0,0476	0,2294	0,1900	0,1881	0,2139
1600	0,0056	0,0544	0,2622	0,2172	0,2149	0,2445
1800	0,0063	0,0612	0,2949	0,2443	0,2418	0,2750
<i>qd(veic/h)</i>	<i>FFSd = 80 km/h</i>					
200	0,0045	0,0132	0,0272	0,0333	0,0190	0,0314
400	0,0090	0,0265	0,0544	0,0666	0,0381	0,0629
600	0,0135	0,0397	0,0816	0,1000	0,0571	0,0943
800	0,0179	0,0530	0,1087	0,1333	0,0762	0,1257
1000	0,0224	0,0662	0,1359	0,1666	0,0952	0,1572
1200	0,0269	0,0795	0,1631	0,1999	0,1143	0,1886
1400	0,0314	0,0927	0,1903	0,2332	0,1333	0,2200
1600	0,0359	0,1060	0,2175	0,2666	0,1523	0,2515
1800	0,0404	0,1192	0,2447	0,2999	0,1714	0,2829
<i>qd(veic/h)</i>	<i>FFSd = 90 km/h</i>					
200	0,0054	0,0028	0,0412	0,0445	0,0216	0,0396
400	0,0109	0,0055	0,0824	0,0890	0,0432	0,0792
600	0,0163	0,0083	0,1235	0,1335	0,0648	0,1188
800	0,0217	0,0111	0,1647	0,1781	0,0864	0,1583
1000	0,0271	0,0139	0,2059	0,2226	0,1080	0,1979
1200	0,0326	0,0166	0,2471	0,2671	0,1296	0,2375
1400	0,0380	0,0194	0,2882	0,3116	0,1511	0,2771
1600	0,0434	0,0222	0,3294	0,3561	0,1727	0,3167
1800	0,0488	0,0249	0,3706	0,4006	0,1943	0,3563
<i>qd(veic/h)</i>	<i>FFSd = 100 km/h</i>					
200	0,0061	0,0075	0,0402	0,0450	0,0315	0,0370
400	0,0121	0,0151	0,0804	0,0900	0,0630	0,0741
600	0,0182	0,0226	0,1206	0,1350	0,0945	0,1111
800	0,0242	0,0301	0,1608	0,1800	0,1260	0,1481
1000	0,0303	0,0377	0,2011	0,2250	0,1575	0,1851
1200	0,0364	0,0452	0,2413	0,2700	0,1890	0,2222
1400	0,0424	0,0527	0,2815	0,3150	0,2205	0,2592
1600	0,0485	0,0603	0,3217	0,3600	0,2520	0,2962
1800	0,0546	0,0678	0,3619	0,4050	0,2835	0,3332
<i>qd(veic/h)</i>	<i>FFSd = 110 km/h</i>					
200	0,0034	0,0287	0,0438	0,0406	0,0370	0,0441
400	0,0068	0,0573	0,0875	0,0813	0,0740	0,0882
600	0,0102	0,0860	0,1313	0,1219	0,1110	0,1323
800	0,0136	0,1146	0,1751	0,1626	0,1480	0,1764
1000	0,0170	0,1433	0,2189	0,2032	0,1851	0,2205
1200	0,0204	0,1719	0,2626	0,2439	0,2221	0,2647
1400	0,0238	0,2006	0,3064	0,2845	0,2591	0,3088
1600	0,0272	0,2293	0,3502	0,3252	0,2961	0,3529
1800	0,0306	0,2579	0,3939	0,3658	0,3331	0,3970

Figura D.3: Fator de ajuste para faixas adicionais de Subida - COG 3 – Modelo Linear

<b><i>Phv (%)</i></b>						
	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
<b><i>qd(veic/h)</i></b>	<b><i>FFSd = 70km/h</i></b>					
200	0,0000	0,0145	0,0863	0,0758	0,1774	0,0686
400	0,0000	0,0289	0,1726	0,1517	0,3547	0,1373
600	0,0000	0,0434	0,2589	0,2275	0,5321	0,2059
800	0,0000	0,0579	0,3452	0,3033	0,7095	0,2746
1000	0,0000	0,0723	0,4315	0,3792	0,8869	0,3432
1200	0,0000	0,0868	0,5178	0,4550	1,0642	0,4119
1400	0,0000	0,1013	0,6041	0,5309	1,2416	0,4805
1600	0,0000	0,1157	0,6903	0,6067	1,4190	0,5492
1800	0,0000	0,1302	0,7766	0,6825	1,5963	0,6178
<b><i>qd(veic/h)</i></b>	<b><i>FFSd = 80 km/h</i></b>					
200	0,0000	0,0423	0,0679	0,0827	0,1948	0,1029
400	0,0000	0,0847	0,1358	0,1653	0,3896	0,2058
600	0,0000	0,1270	0,2038	0,2480	0,5844	0,3087
800	0,0000	0,1693	0,2717	0,3306	0,7791	0,4116
1000	0,0000	0,2116	0,3396	0,4133	0,9739	0,5145
1200	0,0000	0,2540	0,4075	0,4959	1,1687	0,6174
1400	0,0000	0,2963	0,4754	0,5786	1,3635	0,7203
1600	0,0000	0,3386	0,5434	0,6612	1,5583	0,8232
1800	0,0000	0,3809	0,6113	0,7439	1,7531	0,9261
<b><i>qd(veic/h)</i></b>	<b><i>FFSd = 90 km/h</i></b>					
200	0,0000	0,0514	0,1023	0,1105	0,2118	0,1354
400	0,0000	0,1028	0,2046	0,2210	0,4236	0,2709
600	0,0000	0,1541	0,3069	0,3315	0,6354	0,4063
800	0,0000	0,2055	0,4092	0,4421	0,8472	0,5417
1000	0,0000	0,2569	0,5115	0,5526	1,0590	0,6771
1200	0,0000	0,3083	0,6138	0,6631	1,2708	0,8126
1400	0,0000	0,3596	0,7161	0,7736	1,4826	0,9480
1600	0,0000	0,4110	0,8184	0,8841	1,6944	1,0834
1800	0,0000	0,4624	0,9207	0,9946	1,9062	1,2188
<b><i>qd(veic/h)</i></b>	<b><i>FFSd = 100 km/h</i></b>					
200	0,0000	0,0541	0,0961	0,1293	0,2465	0,1652
400	0,0000	0,1082	0,1922	0,2585	0,4930	0,3305
600	0,0000	0,1622	0,2883	0,3878	0,7396	0,4957
800	0,0000	0,2163	0,3844	0,5170	0,9861	0,6609
1000	0,0000	0,2704	0,4805	0,6463	1,2326	0,8261
1200	0,0000	0,3245	0,5766	0,7755	1,4791	0,9914
1400	0,0000	0,3786	0,6727	0,9048	1,7257	1,1566
1600	0,0000	0,4327	0,7688	1,0340	1,9722	1,3218
1800	0,0000	0,4867	0,8649	1,1633	2,2187	1,4871
<b><i>qa(veic/h)</i></b>	<b><i>FFSd = 110 km/h</i></b>					
200	0,0000	0,1028	0,1182	0,1333	0,2517	0,1821
400	0,0000	0,2056	0,2363	0,2666	0,5034	0,3641
600	0,0000	0,3083	0,3545	0,4000	0,7550	0,5462
800	0,0000	0,4111	0,4727	0,5333	1,0067	0,7283
1000	0,0000	0,5139	0,5909	0,6666	1,2584	0,9104
1200	0,0000	0,6167	0,7090	0,7999	1,5101	1,0924
1400	0,0000	0,7194	0,8272	0,9333	1,7617	1,2745
1600	0,0000	0,8222	0,9454	1,0666	2,0134	1,4566
1800	0,0000	0,9250	1,0636	1,1999	2,2651	1,6387

Figura D.4: Fator de ajuste para faixas adicionais de Subida - COG 4 - Modelo Linear

<b><i>Phv (%)</i></b>						
<b><i>qd(veic/h)</i></b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
<b><i>FFSd = 70km/h</i></b>						
200	0,5462	0,6731	0,8390	0,7640	0,7361	0,6797
400	1,0925	1,3462	1,6780	1,5281	1,4722	1,3595
600	1,6387	2,0192	2,5169	2,2921	2,2083	2,0392
800	2,1850	2,6923	3,3559	3,0561	2,9444	2,7189
1000	2,7312	3,3654	4,1949	3,8201	3,6805	3,3986
1200	3,2775	4,0385	5,0339	4,5842	4,4166	4,0784
1400	3,8237	4,7116	5,8728	5,3482	5,1527	4,7581
1600	4,3700	5,3846	6,7118	6,1122	5,8889	5,4378
1800	4,9162	6,0577	7,5508	6,8763	6,6250	6,1175
<b><i>FFSd = 80 km/h</i></b>						
200	0,4948	0,7017	0,8632	0,8039	0,7395	0,7168
400	0,9897	1,4034	1,7265	1,6079	1,4790	1,4335
600	1,4845	2,1051	2,5897	2,4118	2,2184	2,1503
800	1,9793	2,8068	3,4530	3,2157	2,9579	2,8670
1000	2,4741	3,5085	4,3162	4,0197	3,6974	3,5838
1200	2,9690	4,2102	5,1794	4,8236	4,4369	4,3006
1400	3,4638	4,9119	6,0427	5,6275	5,1763	5,0173
1600	3,9586	5,6136	6,9059	6,4315	5,9158	5,7341
1800	4,4535	6,3153	7,7692	7,2354	6,6553	6,4509
<b><i>FFSd = 90 km/h</i></b>						
200	0,4730	0,7197	0,8850	0,8486	0,8228	0,7642
400	0,9460	1,4394	1,7700	1,6972	1,6456	1,5283
600	1,4189	2,1591	2,6550	2,5458	2,4684	2,2925
800	1,8919	2,8787	3,5399	3,3943	3,2912	3,0566
1000	2,3649	3,5984	4,4249	4,2429	4,1140	3,8208
1200	2,8379	4,3181	5,3099	5,0915	4,9367	4,5849
1400	3,3109	5,0378	6,1949	5,9401	5,7595	5,3491
1600	3,7838	5,7575	7,0799	6,7887	6,5823	6,1133
1800	4,2568	6,4772	7,9649	7,6373	7,4051	6,8774
<b><i>FFSd = 100 km/h</i></b>						
200	0,4508	0,7093	0,8261	0,8226	0,8113	0,7703
400	0,9017	1,4186	1,6521	1,6453	1,6226	1,5406
600	1,3525	2,1279	2,4782	2,4679	2,4339	2,3109
800	1,8033	2,8371	3,3042	3,2906	3,2452	3,0812
1000	2,2542	3,5464	4,1303	4,1132	4,0565	3,8515
1200	2,7050	4,2557	4,9563	4,9359	4,8677	4,6218
1400	3,1558	4,9650	5,7824	5,7585	5,6790	5,3922
1600	3,6067	5,6743	6,6085	6,5812	6,4903	6,1625
1800	4,0575	6,3836	7,4345	7,4038	7,3016	6,9328
<b><i>FFSd = 110 km/h</i></b>						
200	0,4313	0,7515	0,8058	0,8332	0,8204	0,6105
400	0,8627	1,5031	1,6116	1,6665	1,6409	1,2211
600	1,2940	2,2546	2,4174	2,4997	2,4613	1,8316
800	1,7253	3,0061	3,2231	3,3330	3,2817	2,4422
1000	2,1566	3,7576	4,0289	4,1662	4,1021	3,0527
1200	2,5880	4,5092	4,8347	4,9994	4,9226	3,6632
1400	3,0193	5,2607	5,6405	5,8327	5,7430	4,2738
1600	3,4506	6,0122	6,4463	6,6659	6,5634	4,8843
1800	3,8819	6,7638	7,2521	7,4991	7,3839	5,4949

Figura D.5: Fator de ajuste para faixas adicionais de Subida - COG 5 – Modelo Linear

<b><i>Phv (%)</i></b>						
<b><i>qd(veic/h)</i></b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
<b><i>FFSd = 70km/h</i></b>						
200	0,7685	0,6940	0,8963	0,8071	0,6369	0,4784
400	1,5371	1,3879	1,7927	1,6143	1,2738	0,9567
600	2,3056	2,0819	2,6890	2,4214	1,9108	1,4351
800	3,0742	2,7758	3,5854	3,2285	2,5477	1,9134
1000	3,8427	3,4698	4,4817	4,0357	3,1846	2,3918
1200	4,6112	4,1638	5,3780	4,8428	3,8215	2,8701
1400	5,3798	4,8577	6,2744	5,6500	4,4585	3,3485
1600	6,1483	5,5517	7,1707	6,4571	5,0954	3,8268
1800	6,9168	6,2456	8,0671	7,2642	5,7323	4,3052
<b><i>FFSd = 80 km/h</i></b>						
200	0,6952	0,7243	0,9569	0,8396	0,6794	0,5395
400	1,3904	1,4486	1,9137	1,6793	1,3588	1,0789
600	2,0855	2,1729	2,8706	2,5189	2,0382	1,6184
800	2,7807	2,8972	3,8274	3,3585	2,7176	2,1579
1000	3,4759	3,6215	4,7843	4,1981	3,3970	2,6973
1200	4,1711	4,3458	5,7411	5,0378	4,0764	3,2368
1400	4,8662	5,0701	6,6980	5,8774	4,7557	3,7763
1600	5,5614	5,7944	7,6548	6,7170	5,4351	4,3157
1800	6,2566	6,5187	8,6117	7,5567	6,1145	4,8552
<b><i>FFSd = 90 km/h</i></b>						
200	0,6568	0,8029	0,9633	0,8532	0,7051	0,5814
400	1,3136	1,6058	1,9267	1,7064	1,4103	1,1628
600	1,9703	2,4087	2,8900	2,5596	2,1154	1,7442
800	2,6271	3,2116	3,8534	3,4128	2,8205	2,3256
1000	3,2839	4,0144	4,8167	4,2660	3,5257	2,9069
1200	3,9407	4,8173	5,7801	5,1192	4,2308	3,4883
1400	4,5975	5,6202	6,7434	5,9724	4,9360	4,0697
1600	5,2542	6,4231	7,7068	6,8256	5,6411	4,6511
1800	5,9110	7,2260	8,6701	7,6789	6,3462	5,2325
<b><i>FFSd = 100 km/h</i></b>						
200	0,6391	0,8036	0,9028	0,8535	0,7004	0,5687
400	1,2782	1,6071	1,8055	1,7070	1,4008	1,1374
600	1,9174	2,4107	2,7083	2,5605	2,1013	1,7061
800	2,5565	3,2142	3,6110	3,4140	2,8017	2,2748
1000	3,1956	4,0178	4,5138	4,2675	3,5021	2,8435
1200	3,8347	4,8213	5,4165	5,1210	4,2025	3,4123
1400	4,4738	5,6249	6,3193	5,9744	4,9030	3,9810
1600	5,1130	6,4284	7,2221	6,8279	5,6034	4,5497
1800	5,7521	7,2320	8,1248	7,6814	6,3038	5,1184
<b><i>FFSd = 110 km/h</i></b>						
200	0,6121	0,8005	0,8632	0,8538	0,6626	0,5477
400	1,2241	1,6011	1,7264	1,7076	1,3252	1,0954
600	1,8362	2,4016	2,5896	2,5614	1,9878	1,6431
800	2,4482	3,2021	3,4528	3,4152	2,6504	2,1908
1000	3,0603	4,0026	4,3160	4,2691	3,3130	2,7384
1200	3,6723	4,8032	5,1792	5,1229	3,9756	3,2861

1400	4,2844	5,6037	6,0424	5,9767	4,6382	3,8338
1600	4,8964	6,4042	6,9056	6,8305	5,3008	4,3815
1800	5,5085	7,2048	7,7688	7,6843	5,9635	4,9292

Figura D.6: Fator de ajuste para NPZ - COG 1 – Modelo Linear

<i>Phv (%)</i>													
<i>NPZ</i>	0		10		20		30		40		50		
	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	
<i>qd(veic/h)</i>	<i>FFS<sub>d</sub> = 70 km/h</i>												
200	0,2134	0,0120	0,0932	0,0000	0,0345	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0406	0,0299	
400	0,4269	0,0240	0,1864	0,0000	0,0689	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0812	0,0599	
600	0,6403	0,0360	0,2796	0,0000	0,1034	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1218	0,0898	
800	0,8537	0,0480	0,3728	0,0000	0,1378	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1624	0,1197	
1000	1,0672	0,0601	0,4660	0,0000	0,1723	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2031	0,1497	
1200	3,6319	2,4234	3,1172	0,0000	2,7806	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	2,7224	2,6584	
1400	1,4940	0,0841	0,6523	0,0000	0,2412	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2843	0,2095	
1600	1,7075	0,0961	0,7455	0,0000	0,2757	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,3249	0,2395	
1800	1,9209	0,1081	0,8387	0,0000	0,3102	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,3655	0,2694	
<i>qd(veic/h)</i>	<i>FFS<sub>d</sub> = 80 km/h</i>												
200	0,1979	0,0075	0,0554	0,0000	0,0069	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
400	0,3957	0,0150	0,1109	0,0000	0,0139	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
600	0,5936	0,0225	0,1663	0,0000	0,0208	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
800	0,7914	0,0300	0,2217	0,0000	0,0277	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1000	0,9893	0,0375	0,2772	0,0000	0,0346	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1200	3,4112	2,2690	2,7849	0,0000	2,5021	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1400	1,3850	0,0524	0,3881	0,0000	0,0485	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1600	1,5829	0,0599	0,4435	0,0000	0,0554	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1800	1,7808	0,0674	0,4989	0,0000	0,0624	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
<i>qd(veic/h)</i>	<i>FFS<sub>d</sub> = 90 km/h</i>												
200	0,1783	0,0164	0,0494	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
400	0,3565	0,0328	0,0989	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
600	0,5348	0,0492	0,1483	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
800	0,7130	0,0656	0,1978	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1000	0,8913	0,0820	0,2472	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1200	3,1832	2,2121	2,6432	0,0000	2,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1400	1,2478	0,1149	0,3461	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1600	1,4260	0,1313	0,3956	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1800	1,6043	0,1477	0,4450	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
<i>qd(veic/h)</i>	<i>FFS<sub>d</sub> = 100 km/h</i>												
200	0,2831	0,0130	0,0552	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
400	0,5663	0,0260	0,1103	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
600	0,8494	0,0390	0,1655	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
800	1,1326	0,0521	0,2206	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1000	1,4157	0,0651	0,2758	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1200	3,7076	2,0869	2,5633	0,0000	2,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1400	1,9820	0,0911	0,3861	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1600	2,2651	0,1041	0,4412	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1800	2,5482	0,1171	0,4964	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
<i>qd(veic/h)</i>	<i>FFS<sub>d</sub> = 110 km/h</i>												
200	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
400	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
600	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
800	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1200	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1400	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
1600	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	

1800	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

---

Figura D.7: Fator de ajuste para NPZ - COG 2 – Modelo Linear

<i>Phv (%)</i>													
<i>NPZ</i>	0		10		20		30		40		50		
	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	
<i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i>													
200	0,0890	1,5420	0,0901	1,4085	0,0000	1,1543	0,0000	1,0037	0,0000	1,0134	0,0000	0,9377	
400	0,1780	3,0839	0,1803	2,8171	0,0000	2,3087	0,0000	2,0074	0,0000	2,0269	0,0000	1,8755	
600	0,2670	4,6259	0,2704	4,2256	0,0000	3,4630	0,0000	3,0110	0,0000	3,0403	0,0000	2,8132	
800	0,3560	6,1678	0,3605	5,6341	0,0000	4,6174	0,0000	4,0147	0,0000	4,0538	0,0000	3,7509	
1000	0,4450	7,7098	0,4507	7,0427	0,0000	5,7717	0,0000	5,0184	0,0000	5,0672	0,0000	4,6887	
1200	0,5340	9,2517	0,5408	8,4512	0,0000	6,9261	0,0000	6,0221	0,0000	6,0807	0,0000	5,6264	
1400	0,6230	10,7937	0,6309	9,8597	0,0000	8,0804	0,0000	7,0257	0,0000	7,0941	0,0000	6,5641	
1600	0,7120	12,3357	0,7211	11,2683	0,0000	9,2348	0,0000	8,0294	0,0000	8,1076	0,0000	7,5018	
1800	0,8010	13,8776	0,8112	12,6768	0,0000	10,3891	0,0000	9,0331	0,0000	9,1210	0,0000	8,4396	
<i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i>													
200	0,0897	1,5319	0,0195	1,3187	0,0000	1,0978	0,0000	0,9907	0,0000	0,9777	0,0000	0,8037	
400	0,1794	3,0638	0,0390	2,6374	0,0000	2,1955	0,0000	1,9813	0,0000	1,9554	0,0000	1,6074	
600	0,2691	4,5958	0,0585	3,9561	0,0000	3,2933	0,0000	2,9720	0,0000	2,9330	0,0000	2,4111	
800	0,3588	6,1277	0,0780	5,2748	0,0000	4,3911	0,0000	3,9626	0,0000	3,9107	0,0000	3,2148	
1000	0,4485	7,6596	0,0974	6,5935	0,0000	5,4888	0,0000	4,9533	0,0000	4,8884	0,0000	4,0186	
1200	0,5382	9,1915	0,1169	7,9122	0,0000	6,5866	0,0000	5,9439	0,0000	5,8661	0,0000	4,8223	
1400	0,6279	10,7234	0,1364	9,2308	0,0000	7,6844	0,0000	6,9346	0,0000	6,8437	0,0000	5,6260	
1600	0,7176	12,2553	0,1559	10,5495	0,0000	8,7821	0,0000	7,9252	0,0000	7,8214	0,0000	6,4297	
1800	0,8073	13,7873	0,1754	11,8682	0,0000	9,8799	0,0000	8,9159	0,0000	8,7991	0,0000	7,2334	
<i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i>													
200	0,0748	1,4111	0,0087	1,2460	0,0000	0,9784	0,0000	0,8924	0,0000	0,8896	0,0000	0,7576	
400	0,1495	2,8222	0,0174	2,4920	0,0000	1,9568	0,0000	1,7847	0,0000	1,7791	0,0000	1,5152	
600	0,2243	4,2332	0,0261	3,7380	0,0000	2,9353	0,0000	2,6771	0,0000	2,6687	0,0000	2,2728	
800	0,2991	5,6443	0,0348	4,9840	0,0000	3,9137	0,0000	3,5694	0,0000	3,5582	0,0000	3,0304	
1000	0,3738	7,0554	0,0436	6,2300	0,0000	4,8921	0,0000	4,4618	0,0000	4,4478	0,0000	3,7880	
1200	0,4486	8,4665	0,0523	7,4761	0,0000	5,8705	0,0000	5,3541	0,0000	5,3373	0,0000	4,5456	
1400	0,5234	9,8775	0,0610	8,7221	0,0000	6,8489	0,0000	6,2465	0,0000	6,2269	0,0000	5,3032	
1600	0,5982	11,2886	0,0697	9,9681	0,0000	7,8273	0,0000	7,1388	0,0000	7,1164	0,0000	6,0609	
1800	0,6729	12,6997	0,0784	11,2141	0,0000	8,8058	0,0000	8,0312	0,0000	8,0060	0,0000	6,8185	
<i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i>													
200	0,1516	1,3648	0,0230	1,2054	0,0000	0,9624	0,0000	0,8248	0,0000	0,8160	0,0000	0,7165	
400	0,3032	2,7295	0,0460	2,4108	0,0000	1,9248	0,0000	1,6497	0,0000	1,6321	0,0000	1,4329	
600	0,4548	4,0943	0,0689	3,6163	0,0000	2,8872	0,0000	2,4745	0,0000	2,4481	0,0000	2,1494	
800	0,6064	5,4590	0,0919	4,8217	0,0000	3,8496	0,0000	3,2994	0,0000	3,2642	0,0000	2,8658	
1000	0,7580	6,8238	0,1149	6,0271	0,0000	4,8120	0,0000	4,1242	0,0000	4,0802	0,0000	3,5823	
1200	0,9095	8,1886	0,1379	7,2325	0,0000	5,7745	0,0000	4,9491	0,0000	4,8962	0,0000	4,2987	
1400	1,0611	9,5533	0,1608	8,4380	0,0000	6,7369	0,0000	5,7739	0,0000	5,7123	0,0000	5,0152	
1600	1,2127	10,9181	0,1838	9,6434	0,0000	7,6993	0,0000	6,5987	0,0000	6,5283	0,0000	5,7316	
1800	1,3643	12,2828	0,2068	10,8488	0,0000	8,6617	0,0000	7,4236	0,0000	7,3443	0,0000	6,4481	
<i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i>													
200	0,0419	1,2800	0,0000	1,1098	0,0000	0,9211	0,0000	0,8157	0,0000	0,8067	0,0000	0,7043	
400	0,0838	2,5599	0,0000	2,2195	0,0000	1,8423	0,0000	1,6314	0,0000	1,6133	0,0000	1,4087	
600	0,1257	3,8399	0,0000	3,3293	0,0000	2,7634	0,0000	2,4470	0,0000	2,4200	0,0000	2,1130	
800	0,1677	5,1199	0,0000	4,4391	0,0000	3,6845	0,0000	3,2627	0,0000	3,2266	0,0000	2,8174	
1000	0,2096	6,3998	0,0000	5,5489	0,0000	4,6057	0,0000	4,0784	0,0000	4,0333	0,0000	3,5217	
1200	0,2515	7,6798	0,0000	6,6586	0,0000	5,5268	0,0000	4,8941	0,0000	4,8399	0,0000	4,2261	
1400	0,2934	8,9597	0,0000	7,7684	0,0000	6,4480	0,0000	5,7098	0,0000	5,6466	0,0000	4,9304	
1600	0,3353	10,2397	0,0000	8,8782	0,0000	7,3691	0,0000	6,5254	0,0000	6,4532	0,0000	5,6347	
1800	0,3772	11,5197	0,0000	9,9880	0,0000	8,2902	0,0000	7,3411	0,0000	7,2599	0,0000	6,3391	

Figura D.8: Fator de ajuste para NPZ - COG 3 – Modelo Linear

<b><i>Phv (%)</i></b>													
<b><i>NPZ</i></b>	<b>0</b>		<b>10</b>		<b>20</b>		<b>30</b>		<b>40</b>		<b>50</b>		
	<b>50%</b>	<b>100%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>	
<b><i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i></b>													
	<b><i>FFS<sub>d</sub> = 70km/h</i></b>												
200	0,1016	1,4830	0,0650	1,3560	0,0519	1,1763	0,0055	0,9333	0,0000	1,0589	0,0000	0,9163	
400	0,2033	2,9660	0,1300	2,7120	0,1039	2,3527	0,0111	1,8666	0,0000	2,1178	0,0000	1,8326	
600	0,3049	4,4490	0,1950	4,0680	0,1558	3,5290	0,0166	2,7998	0,0000	3,1767	0,0000	2,7489	
800	0,4065	5,9320	0,2599	5,4239	0,2077	4,7053	0,0221	3,7331	0,0000	4,2356	0,0000	3,6652	
1000	0,5081	7,4150	0,3249	6,7799	0,2596	5,8817	0,0277	4,6664	0,0000	5,2944	0,0000	4,5815	
1200	0,6098	8,8980	0,3899	8,1359	0,3116	7,0580	0,0332	5,5997	0,0000	6,3533	0,0000	5,4978	
1400	0,7114	10,3810	0,4549	9,4919	0,3635	8,2344	0,0387	6,5330	0,0000	7,4122	0,0000	6,4141	
1600	0,8130	11,8640	0,5199	10,8479	0,4154	9,4107	0,0442	7,4663	0,0000	8,4711	0,0000	7,3304	
1800	0,9147	13,3470	0,5849	12,2039	0,4673	10,5870	0,0498	8,3995	0,0000	9,5300	0,0000	8,2467	
<b><i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i></b>													
	<b><i>FFS<sub>d</sub> = 80 km/h</i></b>												
200	0,1218	1,5885	0,0464	1,2714	0,0546	1,1017	0,0000	0,9350	0,0000	0,9858	0,0000	0,7550	
400	0,2436	3,1771	0,0928	2,5429	0,1091	2,2034	0,0000	1,8700	0,0000	1,9716	0,0000	1,5099	
600	0,3654	4,7656	0,1392	3,8143	0,1637	3,3052	0,0000	2,8049	0,0000	2,9574	0,0000	2,2649	
800	0,4872	6,3542	0,1856	5,0858	0,2182	4,4069	0,0000	3,7399	0,0000	3,9433	0,0000	3,0199	
1000	0,6091	7,9427	0,2320	6,3572	0,2728	5,5086	0,0000	4,6749	0,0000	4,9291	0,0000	3,7749	
1200	0,7309	9,5312	0,2784	7,6287	0,3273	6,6103	0,0000	5,6099	0,0000	5,9149	0,0000	4,5298	
1400	0,8527	11,1198	0,3248	8,9001	0,3819	7,7121	0,0000	6,5449	0,0000	6,9007	0,0000	5,2848	
1600	0,9745	12,7083	0,3713	10,1716	0,4365	8,8138	0,0000	7,4798	0,0000	7,8865	0,0000	6,0398	
1800	1,0963	14,2969	0,4177	11,4430	0,4910	9,9155	0,0000	8,4148	0,0000	8,8723	0,0000	6,7947	
<b><i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i></b>													
	<b><i>FFS<sub>d</sub> = 90 km/h</i></b>												
200	0,1157	1,4733	0,0277	1,1909	0,0000	0,9861	0,0000	0,8363	0,0000	0,9005	0,0000	0,7150	
400	0,2313	2,9466	0,0555	2,3818	0,0000	1,9722	0,0000	1,6726	0,0000	1,8009	0,0000	1,4299	
600	0,3470	4,4199	0,0832	3,5727	0,0000	2,9584	0,0000	2,5089	0,0000	2,7014	0,0000	2,1449	
800	0,4626	5,8932	0,1110	4,7636	0,0000	3,9445	0,0000	3,3452	0,0000	3,6018	0,0000	2,8598	
1000	0,5783	7,3665	0,1387	5,9545	0,0000	4,9306	0,0000	4,1816	0,0000	4,5023	0,0000	3,5748	
1200	0,6939	8,8398	0,1665	7,1454	0,0000	5,9167	0,0000	5,0179	0,0000	5,4027	0,0000	4,2897	
1400	0,8096	10,3130	0,1942	8,3363	0,0000	6,9028	0,0000	5,8542	0,0000	6,3032	0,0000	5,0047	
1600	0,9252	11,7863	0,2220	9,5273	0,0000	7,8890	0,0000	6,6905	0,0000	7,2036	0,0000	5,7196	
1800	1,0409	13,2596	0,2497	10,7182	0,0000	8,8751	0,0000	7,5268	0,0000	8,1041	0,0000	6,4346	
<b><i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i></b>													
	<b><i>FFS<sub>d</sub> = 100 km/h</i></b>												
200	0,2105	1,4081	0,0333	1,1627	0,0000	0,9414	0,0000	0,7946	0,0000	0,8028	0,0000	0,6923	
400	0,4210	2,8162	0,0665	2,3254	0,0000	1,8828	0,0000	1,5893	0,0000	1,6057	0,0000	1,3847	
600	0,6315	4,2244	0,0998	3,4881	0,0000	2,8242	0,0000	2,3839	0,0000	2,4085	0,0000	2,0770	
800	0,8420	5,6325	0,1330	4,6508	0,0000	3,7655	0,0000	3,1785	0,0000	3,2114	0,0000	2,7693	
1000	1,0525	7,0406	0,1663	5,8135	0,0000	4,7069	0,0000	3,9732	0,0000	4,0142	0,0000	3,4616	
1200	1,2630	8,4487	0,1995	6,9762	0,0000	5,6483	0,0000	4,7678	0,0000	4,8171	0,0000	4,1540	
1400	1,4735	9,8569	0,2328	8,1389	0,0000	6,5897	0,0000	5,5625	0,0000	5,6199	0,0000	4,8463	
1600	1,6840	11,2650	0,2660	9,3016	0,0000	7,5311	0,0000	6,3571	0,0000	6,4228	0,0000	5,5386	
1800	1,8945	12,6731	0,2993	10,4643	0,0000	8,4725	0,0000	7,1517	0,0000	7,2256	0,0000	6,2309	
<b><i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i></b>													
	<b><i>FFS<sub>d</sub> = 110 km/h</i></b>												
200	0,1089	1,3558	0,0000	1,0429	0,0000	0,8900	0,0000	0,7881	0,0000	0,7857	0,0000	0,6873	
400	0,2177	2,7115	0,0000	2,0859	0,0000	1,7799	0,0000	1,5762	0,0000	1,5714	0,0000	1,3745	
600	0,3266	4,0673	0,0000	3,1288	0,0000	2,6699	0,0000	2,3643	0,0000	2,3571	0,0000	2,0618	
800	0,4354	5,4231	0,0000	4,1718	0,0000	3,5599	0,0000	3,1525	0,0000	3,1428	0,0000	2,7490	
1000	0,5443	6,7788	0,0000	5,2147	0,0000	4,4498	0,0000	3,9406	0,0000	3,9285	0,0000	3,4363	
1200	0,6531	8,1346	0,0000	6,2577	0,0000	5,3398	0,0000	4,7287	0,0000	4,7143	0,0000	4,1235	
1400	0,7620	9,4904	0,0000	7,3006	0,0000	6,2297	0,0000	5,5168	0,0000	5,5000	0,0000	4,8108	
1600	0,8709	10,8461	0,0000	8,3436	0,0000	7,1197	0,0000	6,3049	0,0000	6,2857	0,0000	5,4981	

1800	0,9797	12,2019	0,0000	9,3865	0,0000	8,0097	0,0000	7,0930	0,0000	7,0714	0,0000	6,1853
------	--------	---------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

---

Figura D.9: Fator de ajuste para NPZ - COG 4 – Modelo Linear

		Phv (%)											
NPZ	50%	0		10		20		30		40		50	
		50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%
<b>q<sub>d</sub>(veic/h)</b>		<b>FFS<sub>d</sub> = 70km/h</b>											
200	0,5586	1,1781	0,3936	0,9374	0,2565	0,6192	0,1405	0,4591	0,0934	0,3265	0,0933	0,3502	
400	1,1172	2,3563	0,7873	1,8747	0,5131	1,2384	0,2810	0,9183	0,1867	0,6531	0,1865	0,7004	
600	1,6758	3,5344	1,1809	2,8121	0,7696	1,8576	0,4215	1,3774	0,2801	0,9796	0,2798	1,0506	
800	2,2344	4,7126	1,5746	3,7494	1,0261	2,4768	0,5620	1,8365	0,3734	1,3062	0,3731	1,4007	
1000	2,7930	5,8907	1,9682	4,6868	1,2827	3,0959	0,7025	2,2956	0,4668	1,6327	0,4663	1,7509	
1200	3,3517	7,0688	2,3619	5,6241	1,5392	3,7151	0,8429	2,7548	0,5601	1,9593	0,5596	2,1011	
1400	3,9103	8,2470	2,7555	6,5615	1,7957	4,3343	0,9834	3,2139	0,6535	2,2858	0,6529	2,4513	
1600	4,4689	9,4251	3,1492	7,4988	2,0522	4,9535	1,1239	3,6730	0,7468	2,6124	0,7462	2,8015	
1800	5,0275	10,6032	3,5428	8,4362	2,3088	5,5727	1,2644	4,1321	0,8402	2,9389	0,8394	3,1517	
<b>q<sub>a</sub>(veic/h)</b>		<b>FFS<sub>d</sub> = 80km/h</b>											
200	0,5658	1,1152	0,3621	0,8585	0,1793	0,5014	0,1121	0,3991	0,0816	0,2921	0,0335	0,2759	
400	1,1317	2,2303	0,7242	1,7169	0,3586	1,0027	0,2241	0,7983	0,1633	0,5841	0,0671	0,5519	
600	1,6975	3,3455	1,0863	2,5754	0,5379	1,5041	0,3362	1,1974	0,2449	0,8762	0,1006	0,8278	
800	2,2634	4,4606	1,4484	3,4338	0,7172	2,0055	0,4482	1,5966	0,3266	1,1683	0,1341	1,1037	
1000	2,8292	5,5758	1,8105	4,2923	0,8965	2,5069	0,5603	1,9957	0,4082	1,4604	0,1677	1,3797	
1200	3,3951	6,6910	2,1726	5,1507	1,0758	3,0082	0,6723	2,3949	0,4898	1,7524	0,2012	1,6556	
1400	3,9609	7,8061	2,5347	6,0092	1,2551	3,5096	0,7844	2,7940	0,5715	2,0445	0,2348	1,9315	
1600	4,5268	8,9213	2,8968	6,8677	1,4344	4,0110	0,8964	3,1932	0,6531	2,3366	0,2683	2,2074	
1800	5,0926	10,0364	3,2589	7,7261	1,6137	4,5123	1,0085	3,5923	0,7348	2,6286	0,3018	2,4834	
<b>q<sub>d</sub>(veic/h)</b>		<b>FFS<sub>d</sub> = 90km/h</b>											
200	0,5115	1,0299	0,3179	0,7584	0,1332	0,4134	0,0658	0,3254	0,0212	0,2047	0,0036	0,1970	
400	1,0229	2,0597	0,6358	1,5167	0,2664	0,8269	0,1315	0,6507	0,0425	0,4094	0,0072	0,3939	
600	1,5344	3,0896	0,9537	2,2751	0,3996	1,2403	0,1973	0,9761	0,0637	0,6141	0,0108	0,5909	
800	2,0458	4,1194	1,2716	3,0334	0,5328	1,6538	0,2630	1,3014	0,0849	0,8189	0,0143	0,7878	
1000	2,5573	5,1493	1,5895	3,7918	0,6661	2,0672	0,3288	1,6268	0,1061	1,0236	0,0179	0,9848	
1200	3,0687	6,1791	1,9074	4,5501	0,7993	2,4807	0,3945	1,9521	0,1274	1,2283	0,0215	1,1817	
1400	3,5802	7,2090	2,2253	5,3085	0,9325	2,8941	0,4603	2,2775	0,1486	1,4330	0,0251	1,3787	
1600	4,0917	8,2388	2,5432	6,0668	1,0657	3,3076	0,5261	2,6028	0,1698	1,6377	0,0287	1,5756	
1800	4,6031	9,2687	2,8611	6,8252	1,1989	3,7210	0,5918	2,9282	0,1910	1,8424	0,0323	1,7726	
<b>q<sub>a</sub>(veic/h)</b>		<b>FFS<sub>d</sub> = 100 km/h</b>											
200	0,6698	0,9539	0,2666	0,6820	0,1222	0,4032	0,0624	0,3203	0,0043	0,1716	0,0000	0,1398	
400	1,3397	1,9078	0,5332	1,3639	0,2444	0,8064	0,1249	0,6405	0,0087	0,3432	0,0000	0,2795	
600	2,0095	2,8617	0,7998	2,0459	0,3666	1,2096	0,1873	0,9608	0,0130	0,5147	0,0000	0,4193	
800	2,6794	3,8156	1,0664	2,7279	0,4887	1,6128	0,2497	1,2811	0,0174	0,6863	0,0000	0,5591	
1000	3,3492	4,7696	1,3330	3,4099	0,6109	2,0160	0,3121	1,6014	0,0217	0,8579	0,0000	0,6989	
1200	4,0191	5,7235	1,5996	4,0918	0,7331	2,4192	0,3746	1,9216	0,0261	1,0295	0,0000	0,8386	
1400	4,6889	6,6774	1,8663	4,7738	0,8553	2,8223	0,4370	2,2419	0,0304	1,2010	0,0000	0,9784	
1600	5,3588	7,6313	2,1329	5,4558	0,9775	3,2255	0,4994	2,5622	0,0348	1,3726	0,0000	1,1182	
1800	6,0286	8,5852	2,3995	6,1377	1,0997	3,6287	0,5618	2,8825	0,0391	1,5442	0,0000	1,2580	
<b>q<sub>d</sub>(veic/h)</b>		<b>FFS<sub>d</sub> = 110 km/h</b>											
200	0,4535	0,8948	0,1916	0,5884	0,1220	0,3906	0,0622	0,3038	0,0024	0,1752	0,0120	0,1620	
400	0,9070	1,7896	0,3831	1,1769	0,2440	0,7812	0,1244	0,6075	0,0048	0,3504	0,0240	0,3240	
600	1,3605	2,6844	0,5747	1,7653	0,3660	1,1718	0,1866	0,9113	0,0073	0,5257	0,0360	0,4860	
800	1,8140	3,5791	0,7663	2,3538	0,4880	1,5624	0,2488	1,2150	0,0097	0,7009	0,0480	0,6480	
1000	2,2676	4,4739	0,9578	2,9422	0,6100	1,9530	0,3110	1,5188	0,0121	0,8761	0,0600	0,8100	
1200	2,7211	5,3687	1,1494	3,5307	0,7319	2,3436	0,3731	1,8225	0,0145	1,0513	0,0720	0,9719	
1400	3,1746	6,2635	1,3410	4,1191	0,8539	2,7342	0,4353	2,1263	0,0169	1,2265	0,0840	1,1339	
1600	3,6281	7,1583	1,5325	4,7076	0,9759	3,1248	0,4975	2,4300	0,0193	1,4018	0,0959	1,2959	
1800	4,0816	8,0531	1,7241	5,2960	1,0979	3,5153	0,5597	2,7338	0,0218	1,5770	0,1079	1,4579	

Figura D.10: Fator de ajuste para NPZ - COG 5 – Modelo Linear

<b><i>Phv (%)</i></b>														
<b><i>NPZ</i></b>	<b><i>0</i></b>		<b><i>10</i></b>		<b><i>20</i></b>		<b><i>30</i></b>		<b><i>40</i></b>		<b><i>50</i></b>			
	<b><i>50%</i></b>	<b><i>100%</i></b>	<b><i>50%</i></b>	<b><i>100%</i></b>	<b><i>50%</i></b>	<b><i>100%</i></b>	<b><i>50%</i></b>	<b><i>100%</i></b>	<b><i>50%</i></b>	<b><i>100%</i></b>	<b><i>50%</i></b>	<b><i>100%</i></b>		
<b><i>q_d(veic/h)</i></b>	<b><i>FFS_d = 70 km/h</i></b>													
200	0,2309	1,0735	0,1723	0,9454	0,0000	0,6024	0,0000	0,4288	0,0000	0,3347	0,0000	0,2575		
400	0,4618	2,1470	0,3446	1,8907	0,0000	1,2048	0,0000	0,8576	0,0000	0,6695	0,0000	0,5150		
600	0,6927	3,2206	0,5169	2,8361	0,0000	1,8072	0,0000	1,2863	0,0000	1,0042	0,0000	0,7724		
800	0,9236	4,2941	0,6892	3,7814	0,0000	2,4096	0,0000	1,7151	0,0000	1,3390	0,0000	1,0299		
1000	1,1545	5,3676	0,8615	4,7268	0,0000	3,0120	0,0000	2,1439	0,0000	1,6737	0,0000	1,2874		
1200	1,3854	6,4411	1,0338	5,6722	0,0000	3,6144	0,0000	2,5727	0,0000	2,0085	0,0000	1,5449		
1400	1,6163	7,5147	1,2061	6,6175	0,0000	4,2168	0,0000	3,0015	0,0000	2,3432	0,0000	1,8023		
1600	1,8472	8,5882	1,3784	7,5629	0,0000	4,8192	0,0000	3,4303	0,0000	2,6779	0,0000	2,0598		
1800	2,0781	9,6617	1,5507	8,5082	0,0000	5,4216	0,0000	3,8590	0,0000	3,0127	0,0000	2,3173		
<b><i>q_d(veic/h)</i></b>	<b><i>FFS_d = 80 km/h</i></b>													
200	0,2621	1,0449	0,1304	0,8679	0,0000	0,5032	0,0000	0,3753	0,0000	0,2857	0,0000	0,2110		
400	0,5242	2,0899	0,2609	1,7359	0,0000	1,0063	0,0000	0,7507	0,0000	0,5715	0,0000	0,4221		
600	0,7862	3,1348	0,3913	2,6038	0,0000	1,5095	0,0000	1,1260	0,0000	0,8572	0,0000	0,6331		
800	1,0483	4,1797	0,5218	3,4717	0,0000	2,0126	0,0000	1,5013	0,0000	1,1429	0,0000	0,8442		
1000	1,3104	5,2247	0,6522	4,3396	0,0000	2,5158	0,0000	1,8767	0,0000	1,4287	0,0000	1,0552		
1200	1,5725	6,2696	0,7827	5,2076	0,0000	3,0190	0,0000	2,2520	0,0000	1,7144	0,0000	1,2663		
1400	1,8345	7,3145	0,9131	6,0755	0,0000	3,5221	0,0000	2,6273	0,0000	2,0001	0,0000	1,4773		
1600	2,0966	8,3595	1,0436	6,9434	0,0000	4,0253	0,0000	3,0027	0,0000	2,2859	0,0000	1,6883		
1800	2,3587	9,4044	1,1740	7,8114	0,0000	4,5284	0,0000	3,3780	0,0000	2,5716	0,0000	1,8994		
<b><i>q_d(veic/h)</i></b>	<b><i>FFS_d = 90 km/h</i></b>													
200	0,2475	0,9894	0,0543	0,7587	0,0000	0,4637	0,0000	0,3522	0,0000	0,2483	0,0000	0,1498		
400	0,4949	1,9788	0,1086	1,5173	0,0000	0,9274	0,0000	0,7044	0,0000	0,4967	0,0000	0,2997		
600	0,7424	2,9681	0,1630	2,2760	0,0000	1,3911	0,0000	1,0566	0,0000	0,7450	0,0000	0,4495		
800	0,9898	3,9575	0,2173	3,0347	0,0000	1,8547	0,0000	1,4088	0,0000	0,9933	0,0000	0,5994		
1000	1,2373	4,9469	0,2716	3,7934	0,0000	2,3184	0,0000	1,7610	0,0000	1,2416	0,0000	0,7492		
1200	1,4847	5,9363	0,3259	4,5520	0,0000	2,7821	0,0000	2,1132	0,0000	1,4900	0,0000	0,8991		
1400	1,7322	6,9257	0,3803	5,3107	0,0000	3,2458	0,0000	2,4654	0,0000	1,7383	0,0000	1,0489		
1600	1,9797	7,9151	0,4346	6,0694	0,0000	3,7095	0,0000	2,8176	0,0000	1,9866	0,0000	1,1987		
1800	2,2271	8,9044	0,4889	6,8281	0,0000	4,1732	0,0000	3,1698	0,0000	2,2350	0,0000	1,3486		
<b><i>q_d(veic/h)</i></b>	<b><i>FFS_d = 100 km/h</i></b>													
200	0,4006	0,9104	0,0268	0,6854	0,0000	0,4516	0,0000	0,2998	0,0000	0,2139	0,0000	0,1306		
400	0,8012	1,8209	0,0536	1,3709	0,0000	0,9032	0,0000	0,5996	0,0000	0,4277	0,0000	0,2612		
600	1,2018	2,7313	0,0804	2,0563	0,0000	1,3549	0,0000	0,8995	0,0000	0,6416	0,0000	0,3918		
800	1,6024	3,6418	0,1072	2,7418	0,0000	1,8065	0,0000	1,1993	0,0000	0,8554	0,0000	0,5224		
1000	2,0030	4,5522	0,1340	3,4272	0,0000	2,2581	0,0000	1,4991	0,0000	1,0693	0,0000	0,6530		
1200	2,4037	5,4626	0,1608	4,1126	0,0000	2,7097	0,0000	1,7989	0,0000	1,2831	0,0000	0,7836		
1400	2,8043	6,3731	0,1876	4,7981	0,0000	3,1614	0,0000	2,0988	0,0000	1,4970	0,0000	0,9142		
1600	3,2049	7,2835	0,2144	5,4835	0,0000	3,6130	0,0000	2,3986	0,0000	1,7109	0,0000	1,0448		
1800	3,6055	8,1940	0,2412	6,1690	0,0000	4,0646	0,0000	2,6984	0,0000	1,9247	0,0000	1,1754		
<b><i>q_d(veic/h)</i></b>	<b><i>FFS_d = 110 km/h</i></b>													
200	0,2321	0,8379	0,0200	0,6685	0,0000	0,4431	0,0000	0,2971	0,0000	0,2291	0,0000	0,1460		
400	0,4641	1,6928	0,0399	1,2339	0,0000	0,7310	0,0000	0,6812	0,0000	0,8036	0,0000	0,5924		
600	0,6962	2,5391	0,0599	1,8508	0,0000	1,0966	0,0000	1,0218	0,0000	1,2054	0,0000	0,8887		
800	0,9282	3,3855	0,0799	2,4677	0,0000	1,4621	0,0000	1,3624	0,0000	1,6072	0,0000	1,1849		
1000	1,1603	4,2319	0,0999	3,0846	0,0000	1,8276	0,0000	1,7030	0,0000	2,0090	0,0000	1,4811		
1200	1,3923	5,0783	0,1198	3,7016	0,0000	2,1931	0,0000	2,0436	0,0000	2,4108	0,0000	1,7773		
1400	1,6244	5,9247	0,1398	4,3185	0,0000	2,5587	0,0000	2,3842	0,0000	2,8126	0,0000	2,0735		
1600	1,8565	6,7711	0,1598	4,9354	0,0000	2,9242	0,0000	2,7248	0,0000	3,2144	0,0000	2,3698		
1800	2,0885	7,6174	0,1798	5,5524	0,0000	3,2897	0,0000	3,0654	0,0000	3,6162	0,0000	2,6660		

Figura D.11: Fator de ajuste para faixas adicionais de Subida - COG 1 - Modelo Quadrático

Figura D.12: Fator de ajuste para faixas adicionais de Subida - COG 2 - Modelo Quadrático

<b><i>Phv (%)</i></b>							
	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	
<b><i>qd(veic/h)</i></b>		<b><i>FFSd = 70km/h</i></b>					
200	0,0000	0,0009	0,0052	0,0031	0,0019	0,0031	
400	0,0000	0,0034	0,0207	0,0123	0,0077	0,0123	
600	0,0000	0,0077	0,0466	0,0278	0,0173	0,0277	
800	0,0000	0,0136	0,0829	0,0494	0,0307	0,0492	
1000	0,0000	0,0213	0,1296	0,0771	0,0480	0,0769	
1200	0,0000	0,0307	0,1866	0,1111	0,0691	0,1107	
1400	0,0000	0,0418	0,2539	0,1512	0,0940	0,1507	
1600	0,0000	0,0546	0,3317	0,1974	0,1228	0,1968	
1800	0,0000	0,0690	0,4198	0,2499	0,1554	0,2491	
<b><i>qa(veic/h)</i></b>		<b><i>FFSd = 80 km/h</i></b>					
200	0,0004	0,0020	0,0040	0,0037	0,0004	0,0027	
400	0,0017	0,0079	0,0161	0,0146	0,0016	0,0109	
600	0,0039	0,0177	0,0362	0,0329	0,0037	0,0246	
800	0,0069	0,0314	0,0644	0,0585	0,0066	0,0438	
1000	0,0108	0,0491	0,1006	0,0914	0,0102	0,0684	
1200	0,0155	0,0707	0,1448	0,1316	0,0148	0,0985	
1400	0,0211	0,0962	0,1971	0,1791	0,0201	0,1341	
1600	0,0276	0,1256	0,2575	0,2340	0,0262	0,1752	
1800	0,0349	0,1590	0,3259	0,2961	0,0332	0,2217	
<b><i>qa(veic/h)</i></b>		<b><i>FFSd = 90 km/h</i></b>					
200	0,0005	0,0001	0,0060	0,0057	0,0001	0,0032	
400	0,0018	0,0005	0,0241	0,0227	0,0006	0,0128	
600	0,0041	0,0011	0,0542	0,0510	0,0013	0,0287	
800	0,0073	0,0019	0,0963	0,0907	0,0023	0,0511	
1000	0,0114	0,0030	0,1505	0,1417	0,0036	0,0798	
1200	0,0164	0,0044	0,2167	0,2040	0,0052	0,1149	
1400	0,0223	0,0059	0,2950	0,2777	0,0071	0,1564	
1600	0,0292	0,0078	0,3853	0,3627	0,0092	0,2043	
1800	0,0369	0,0098	0,4877	0,4591	0,0117	0,2585	
<b><i>qa(veic/h)</i></b>		<b><i>FFSd = 100 km/h</i></b>					
200	0,0003	0,0000	0,0053	0,0056	0,0015	0,0033	
400	0,0011	0,0000	0,0213	0,0224	0,0060	0,0132	
600	0,0024	0,0000	0,0479	0,0503	0,0134	0,0298	
800	0,0043	0,0000	0,0852	0,0895	0,0239	0,0530	
1000	0,0067	0,0000	0,1331	0,1398	0,0373	0,0828	
1200	0,0097	0,0000	0,1917	0,2013	0,0537	0,1192	
1400	0,0132	0,0000	0,2609	0,2740	0,0731	0,1623	
1600	0,0172	0,0000	0,3408	0,3579	0,0955	0,2119	
1800	0,0218	0,0000	0,4314	0,4529	0,1209	0,2682	
<b><i>qa(veic/h)</i></b>		<b><i>FFSd = 110 km/h</i></b>					
200	0,0006	0,0032	0,0062	0,0043	0,0016	0,0036	
400	0,0024	0,0127	0,0246	0,0173	0,0065	0,0146	
600	0,0054	0,0285	0,0554	0,0390	0,0146	0,0328	
800	0,0096	0,0507	0,0984	0,0694	0,0259	0,0584	
1000	0,0150	0,0792	0,1538	0,1084	0,0404	0,0912	
1200	0,0216	0,1140	0,2214	0,1561	0,0582	0,1313	
1400	0,0294	0,1552	0,3014	0,2124	0,0793	0,1787	

1600	0,0385	0,2027	0,3936	0,2774	0,1035	0,2335
1800	0,0487	0,2566	0,4982	0,3511	0,1310	0,2955

Figura D.13: Fator de ajuste para faixas adicionais de Subida - COG 3 - Modelo Quadrático

<b><i>Phv (%)</i></b>							
	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	
<b><i>qd(veic/h)</i></b>		<b><i>FFSd = 70km/h</i></b>					
200	0,0000	0,0055	0,0114	0,0079	0,0240	0,0022	
400	0,0000	0,0219	0,0456	0,0318	0,0959	0,0087	
600	0,0000	0,0493	0,1025	0,0715	0,2158	0,0196	
800	0,0000	0,0877	0,1823	0,1272	0,3837	0,0349	
1000	0,0000	0,1370	0,2848	0,1987	0,5996	0,0545	
1200	0,0000	0,1973	0,4101	0,2861	0,8634	0,0784	
1400	0,0000	0,2685	0,5582	0,3894	1,1752	0,1068	
1600	0,0000	0,3507	0,7290	0,5087	1,5349	0,1394	
1800	0,0000	0,4439	0,9227	0,6438	1,9426	0,1765	
<b><i>qd(veic/h)</i></b>		<b><i>FFSd = 80 km/h</i></b>					
200	0,0000	0,0100	0,0077	0,0081	0,0267	0,0056	
400	0,0000	0,0401	0,0306	0,0325	0,1069	0,0223	
600	0,0000	0,0903	0,0689	0,0731	0,2405	0,0503	
800	0,0000	0,1605	0,1224	0,1300	0,4276	0,0894	
1000	0,0000	0,2508	0,1913	0,2031	0,6681	0,1397	
1200	0,0000	0,3611	0,2755	0,2925	0,9620	0,2011	
1400	0,0000	0,4915	0,3750	0,3981	1,3094	0,2738	
1600	0,0000	0,6420	0,4898	0,5199	1,7103	0,3576	
1800	0,0000	0,8125	0,6198	0,6580	2,1645	0,4526	
<b><i>qd(veic/h)</i></b>		<b><i>FFSd = 90 km/h</i></b>					
200	0,0000	0,0101	0,0121	0,0114	0,0287	0,0092	
400	0,0000	0,0406	0,0484	0,0456	0,1146	0,0369	
600	0,0000	0,0913	0,1088	0,1025	0,2579	0,0831	
800	0,0000	0,1622	0,1935	0,1822	0,4584	0,1478	
1000	0,0000	0,2535	0,3023	0,2847	0,7163	0,2309	
1200	0,0000	0,3650	0,4354	0,4100	1,0315	0,3325	
1400	0,0000	0,4969	0,5926	0,5581	1,4040	0,4526	
1600	0,0000	0,6490	0,7740	0,7289	1,8338	0,5912	
1800	0,0000	0,8213	0,9796	0,9225	2,3208	0,7482	
<b><i>qd(veic/h)</i></b>		<b><i>FFSd = 100 km/h</i></b>					
200	0,0000	0,0093	0,0113	0,0141	0,0328	0,0131	
400	0,0000	0,0374	0,0451	0,0565	0,1313	0,0524	
600	0,0000	0,0841	0,1016	0,1271	0,2955	0,1178	
800	0,0000	0,1495	0,1806	0,2259	0,5253	0,2095	
1000	0,0000	0,2336	0,2821	0,3530	0,8207	0,3273	
1200	0,0000	0,3363	0,4063	0,5084	1,1818	0,4713	
1400	0,0000	0,4578	0,5530	0,6919	1,6086	0,6416	
1600	0,0000	0,5979	0,7222	0,9038	2,1010	0,8380	
1800	0,0000	0,7568	0,9141	1,1438	2,6591	1,0605	
<b><i>qd(veic/h)</i></b>		<b><i>FFSd = 110 km/h</i></b>					
200	0,0000	0,0152	0,0131	0,0132	0,0336	0,0155	
400	0,0000	0,0606	0,0525	0,0528	0,1343	0,0621	
600	0,0000	0,1365	0,1181	0,1188	0,3021	0,1396	
800	0,0000	0,2426	0,2100	0,2112	0,5370	0,2482	
1000	0,0000	0,3791	0,3281	0,3300	0,8391	0,3878	
1200	0,0000	0,7429	0,6431	0,6469	1,6446	0,7601	
1400	0,0000	0,5458	0,4725	0,4753	1,2083	0,5585	

1600	0,0000	0,9704	0,8399	0,8449	2,1480	0,9928
1800	0,0000	1,2281	1,0630	1,0693	2,7186	1,2566

Figura D.14: Fator de ajuste para faixas adicionais de Subida - COG 4 - Modelo Quadrático

<i>Phv (%)</i>							
	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	
<b><i>qd(veic/h)</i></b>		<b><i>FFS<sub>d</sub> = 70 km/h</i></b>					
200	0,0726	0,0859	0,1055	0,0897	0,0852	0,0857	
400	0,2906	0,3434	0,4222	0,3588	0,3409	0,3430	
600	0,6538	0,7727	0,9499	0,8072	0,7671	0,7717	
800	1,1623	1,3736	1,6887	1,4350	1,3638	1,3719	
1000	1,8162	2,1463	2,6387	2,2422	2,1309	2,1437	
1200	2,6153	3,0906	3,7997	3,2288	3,0684	3,0869	
1400	3,5597	4,2067	5,1718	4,3947	4,1765	4,2016	
1600	4,6493	5,4945	6,7550	5,7401	5,4550	5,4878	
1800	5,8843	6,9539	8,5492	7,2648	6,9040	6,9455	
<b><i>qd(veic/h)</i></b>		<b><i>FFS<sub>d</sub> = 80 km/h</i></b>					
200	0,0646	0,0925	0,1063	0,0920	0,0842	0,0882	
400	0,2585	0,3701	0,4251	0,3681	0,3366	0,3528	
600	0,5817	0,8327	0,9564	0,8281	0,7574	0,7937	
800	1,0341	1,4804	1,7003	1,4722	1,3464	1,4110	
1000	1,6158	2,3131	2,6568	2,3004	2,1038	2,2047	
1200	2,3268	3,3308	3,8258	3,3125	3,0294	3,1748	
1400	3,1670	4,5336	5,2073	4,5087	4,1234	4,3213	
1600	4,1365	5,9215	6,8014	5,8890	5,3857	5,6441	
1800	5,2353	7,4944	8,6080	7,4532	6,8162	7,1433	
<b><i>qd(veic/h)</i></b>		<b><i>FFS<sub>d</sub> = 90 km/h</i></b>					
200	0,0605	0,0963	0,1105	0,0972	0,0967	0,0945	
400	0,2419	0,3851	0,4421	0,3886	0,3870	0,3781	
600	0,5442	0,8664	0,9947	0,8744	0,8707	0,8506	
800	0,9675	1,5403	1,7684	1,5544	1,5480	1,5122	
1000	1,5117	2,4068	2,7631	2,4288	2,4187	2,3629	
1200	2,1769	3,4657	3,9789	3,4974	3,4830	3,4025	
1400	2,9630	4,7172	5,4157	4,7604	4,7407	4,6312	
1600	3,8700	6,1613	7,0736	6,2177	6,1919	6,0489	
1800	4,8980	7,7979	8,9525	7,8693	7,8367	7,6557	
<b><i>qd(veic/h)</i></b>		<b><i>FFS<sub>d</sub> = 100 km/h</i></b>					
200	0,0578	0,0930	0,1021	0,0932	0,0921	0,0929	
400	0,2314	0,3721	0,4086	0,3726	0,3686	0,3716	
600	0,5206	0,8372	0,9193	0,8384	0,8292	0,8361	
800	0,9254	1,4884	1,6343	1,4905	1,4742	1,4864	
1000	1,4460	2,3257	2,5535	2,3289	2,3034	2,3225	
1200	2,0823	3,3490	3,6771	3,3536	3,3170	3,3444	
1400	2,8342	4,5583	5,0049	4,5646	4,5148	4,5521	
1600	3,7018	5,9538	6,5371	5,9620	5,8968	5,9456	
1800	4,6851	7,5352	8,2735	7,5456	7,4632	7,5249	
<b><i>qd(veic/h)</i></b>		<b><i>FFS<sub>d</sub> = 110 km/h</i></b>					
200	0,0566	0,0984	0,0987	0,0945	0,0941	0,0925	
400	0,2262	0,3938	0,3950	0,3781	0,3765	0,3701	
600	0,5090	0,8860	0,8887	0,8507	0,8471	0,8327	
800	0,9049	1,5750	1,5800	1,5123	1,5060	1,4804	
1000	1,4138	2,4610	2,4687	2,3630	2,3531	2,3131	
1200	2,0359	3,5438	3,5550	3,4028	3,3885	3,3309	
1400	2,7711	4,8235	4,8387	4,6315	4,6121	4,5337	
1600	3,6194	6,3001	6,3200	6,0493	6,0239	5,9216	
1800	4,5809	7,9736	7,9987	7,6562	7,6240	7,4945	

Figura D.15: Fator de ajuste para faixas adicionais de Subida - COG 5 – Modelo Quadrático

<b><i>Phv (%)</i></b>							
	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	
<b><i>qd(veic/h)</i></b>		<b><i>FFS<sub>d</sub> = 70 km/h</i></b>					
200	0,0958	0,0890	0,1134	0,1098	0,0797	0,0588	
400	0,3830	0,3560	0,4536	0,4393	0,3187	0,2353	
600	0,8618	0,8009	1,0205	0,9885	0,7171	0,5295	
800	1,5320	1,4238	1,8143	1,7574	1,2749	0,9413	
1000	2,3938	2,2247	2,8348	2,7459	1,9920	1,4707	
1200	3,4470	3,2036	4,0821	3,9540	2,8684	2,1178	
1400	4,6918	4,3605	5,5562	5,3819	3,9043	2,8826	
1600	6,1281	5,6953	7,2570	7,0294	5,0994	3,7650	
1800	7,7558	7,2082	9,1847	8,8966	6,4540	4,7651	
<b><i>qd(veic/h)</i></b>		<b><i>FFS<sub>d</sub> = 80 km/h</i></b>					
200	0,0856	0,0937	0,1206	0,1142	0,0840	0,0659	
400	0,3424	0,3749	0,4822	0,4566	0,3359	0,2635	
600	0,7704	0,8434	1,0850	1,0274	0,7559	0,5929	
800	1,3696	1,4994	1,9289	1,8264	1,3438	1,0541	
1000	2,1399	2,3428	3,0139	2,8538	2,0997	1,6470	
1200	3,0815	3,3737	4,3400	4,1095	3,0235	2,3717	
1400	4,1943	4,5919	5,9072	5,5935	4,1153	3,2281	
1600	5,4782	5,9976	7,7156	7,3058	5,3751	4,2163	
1800	6,9334	7,5907	9,7650	9,2463	6,8029	5,3363	
<b><i>qd(veic/h)</i></b>		<b><i>FFS<sub>d</sub> = 90 km/h</i></b>					
200	0,0808	0,1082	0,1230	0,1162	0,0867	0,0704	
400	0,3233	0,4326	0,4919	0,4646	0,3467	0,2816	
600	0,7274	0,9734	1,1069	1,0454	0,7801	0,6336	
800	1,2932	1,7305	1,9678	1,8586	1,3869	1,1264	
1000	2,0206	2,7039	3,0746	2,9040	2,1670	1,7600	
1200	2,9097	3,8936	4,4275	4,1818	3,1205	2,5344	
1400	3,9605	5,2997	6,0263	5,6919	4,2474	3,4496	
1600	5,1728	6,9220	7,8711	7,4343	5,5476	4,5056	
1800	6,5469	8,7606	9,9619	9,4090	7,0212	5,7024	
<b><i>qd(veic/h)</i></b>		<b><i>FFS<sub>d</sub> = 100 km/h</i></b>					
200	0,0792	0,1085	0,1131	0,1130	0,0842	0,0676	
400	0,3168	0,4341	0,4523	0,4520	0,3367	0,2704	
600	0,7129	0,9768	1,0178	1,0170	0,7576	0,6085	
800	1,2674	1,7365	1,8094	1,8079	1,3469	1,0818	
1000	1,9803	2,7132	2,8271	2,8249	2,1045	1,6903	
1200	2,8516	3,9071	4,0710	4,0678	3,0305	2,4340	
1400	3,8814	5,3180	5,5412	5,5368	4,1249	3,3130	
1600	5,0696	6,9459	7,2374	7,2317	5,3876	4,3271	
1800	6,4162	8,7909	9,1599	9,1526	6,8187	5,4765	
<b><i>qa(veic/h)</i></b>		<b><i>FFS<sub>d</sub> = 110 km/h</i></b>					
200	0,0757	0,1071	0,1065	0,1130	0,0775	0,0624	
400	0,3026	0,4282	0,4258	0,4522	0,3099	0,2495	
600	0,6809	0,9635	0,9581	1,0174	0,6973	0,5614	
800	1,2105	1,7129	1,7033	1,8087	1,2396	0,9980	
1000	1,8913	2,6763	2,6614	2,8261	1,9369	1,5593	
1200	2,7235	3,8539	3,8325	4,0696	2,7892	2,2454	
1400	3,7070	5,2456	5,2164	5,5392	3,7964	3,0563	
1600	4,8418	6,8514	6,8133	7,2349	4,9585	3,9919	
1800	6,1279	8,6713	8,6231	9,1566	6,2756	5,0522	

Figura D.16: Fator de ajuste para NPZ - COG 1 - Modelo Quadrático

<b><i>Phv (%)</i></b>													
<b><i>NPZ</i></b>	0		10		20		30		40		50		
	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	
<b><i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i></b>													
	<b><i>FFS<sub>d</sub> = 70km/h</i></b>												
200	0,0337	0,0071	0,0159	0,000	0,0039	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
400	0,1346	0,0283	0,0635	0,000	0,0154	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
600	0,3030	0,0637	0,1428	0,000	0,0347	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
800	0,5386	0,1133	0,2539	0,000	0,0616	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1000	0,8415	0,1770	0,3968	0,000	0,0963	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1200	1,2118	0,2549	0,5713	0,000	0,1387	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1400	1,6494	0,3469	0,7777	0,000	0,1888	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1600	2,1543	0,4531	1,0157	0,000	0,2465	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1800	2,7266	0,5734	1,2855	0,000	0,3120	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	<b><i>FFS<sub>d</sub> = 80km/h</i></b>												
200	0,0317	0,0074	0,0094	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
400	0,1269	0,0295	0,0376	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
600	0,2855	0,0663	0,0847	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
800	0,5075	0,1179	0,1505	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1000	0,7930	0,1842	0,2352	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1200	1,1419	0,2652	0,3386	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1400	1,5542	0,3610	0,4609	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1600	2,0300	0,4715	0,6020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1800	2,5692	0,5967	0,7619	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	<b><i>FFS<sub>d</sub> = 90km/h</i></b>												
200	0,0296	0,0069	0,0085	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
400	0,1185	0,0277	0,0340	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
600	0,2665	0,0622	0,0764	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
800	0,4739	0,1106	0,1358	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1000	0,7404	0,1729	0,2122	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1200	1,0662	0,2489	0,3056	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1400	1,4512	0,3388	0,4159	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1600	1,8954	0,4425	0,5432	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1800	2,3989	0,5601	0,6875	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	<b><i>FFS<sub>d</sub> = 100km/h</i></b>												
200	0,0410	0,0069	0,0099	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
400	0,1639	0,0278	0,0396	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
600	0,3687	0,0625	0,0891	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
800	0,6555	0,1111	0,1585	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1000	1,0242	0,1736	0,2476	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1200	1,4748	0,2499	0,3566	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1400	2,0074	0,3402	0,4853	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1600	2,6219	0,4443	0,6339	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1800	3,3183	0,5623	0,8023	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	<b><i>FFS<sub>d</sub> = 110km/h</i></b>												
200	0,000	0,000	0,0025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
400	0,000	0,000	0,0100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
600	0,000	0,000	0,0224	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
800	0,000	0,000	0,0399	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1000	0,000	0,000	0,0623	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1200	0,000	0,000	0,0897	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1400	0,000	0,000	0,1221	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1600	0,000	0,000	0,1595	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1800	0,000	0,000	0,2019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Figura D.17: Fator de ajuste para NPZ - COG 2 - Modelo Quadrático

<b><i>Phv (%)</i></b>													
<b><i>NPZ</i></b>	<b>0</b>		<b>10</b>		<b>20</b>		<b>30</b>		<b>40</b>		<b>50</b>		
	<b>50%</b>	<b>100%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>	
<b><i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i></b>													
	<b><i>FFS<sub>d</sub> = 70km/h</i></b>												
200	0,0166	0,1790	0,0139	0,1665	0,000	0,1389	0,000	0,1218	0,000	0,1127	0,000	0,1142	
400	0,0662	0,7160	0,0556	0,6660	0,000	0,5557	0,000	0,4873	0,000	0,4507	0,000	0,4569	
600	0,1490	1,6111	0,1252	1,4985	0,000	1,2504	0,000	1,0964	0,000	1,0140	0,000	1,0281	
800	0,2649	2,8642	0,2225	2,6640	0,000	2,2229	0,000	1,9492	0,000	1,8027	0,000	1,8278	
1000	0,4139	4,4753	0,3477	4,1624	0,000	3,4732	0,000	3,0457	0,000	2,8167	0,000	2,8559	
1200	0,5960	6,4444	0,5007	5,9939	0,000	5,0014	0,000	4,3858	0,000	4,0561	0,000	4,1125	
1400	0,8113	8,7715	0,6815	8,1583	0,000	6,8075	0,000	5,9696	0,000	5,5208	0,000	5,5976	
1600	1,0596	11,4567	0,8901	10,6558	0,000	8,8914	0,000	7,7970	0,000	7,2108	0,000	7,3112	
1800	1,3411	14,4999	1,1265	13,4863	0,000	11,2532	0,000	9,8680	0,000	9,1262	0,000	9,2532	
<b><i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i></b>													
	<b><i>FFS<sub>d</sub> = 80km/h</i></b>												
200	0,0160	0,1788	0,0033	0,1555	0,000	0,1321	0,000	0,1235	0,000	0,1121	0,000	0,1008	
400	0,0638	0,7153	0,0131	0,6221	0,000	0,5285	0,000	0,4941	0,000	0,4484	0,000	0,4030	
600	0,1437	1,6094	0,0295	1,3996	0,000	1,1891	0,000	1,1116	0,000	1,0089	0,000	0,9068	
800	0,2554	2,8611	0,0525	2,4883	0,000	2,1140	0,000	1,9763	0,000	1,7936	0,000	1,6120	
1000	0,3990	4,4705	0,0820	3,8879	0,000	3,3031	0,000	3,0879	0,000	2,8025	0,000	2,5188	
1200	0,5746	6,4376	0,1181	5,5986	0,000	4,7565	0,000	4,4466	0,000	4,0357	0,000	3,6270	
1400	0,7821	8,7623	0,1607	7,6203	0,000	6,4741	0,000	6,0523	0,000	5,4930	0,000	4,9368	
1600	1,0215	11,4446	0,2099	9,9530	0,000	8,4559	0,000	7,9050	0,000	7,1745	0,000	6,4481	
1800	1,2929	14,4845	0,2657	12,5968	0,000	10,7020	0,000	10,0048	0,000	9,0802	0,000	8,1608	
<b><i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i></b>													
	<b><i>FFS<sub>d</sub> = 90km/h</i></b>												
200	0,0153	0,1703	0,0019	0,1508	0,000	0,1184	0,000	0,1147	0,000	0,1038	0,000	0,0987	
400	0,0611	0,6810	0,0077	0,6033	0,000	0,4734	0,000	0,4587	0,000	0,4150	0,000	0,3949	
600	0,1375	1,5323	0,0174	1,3575	0,000	1,0652	0,000	1,0320	0,000	0,9338	0,000	0,8885	
800	0,2445	2,7241	0,0309	2,4133	0,000	1,8938	0,000	1,8347	0,000	1,6601	0,000	1,5795	
1000	0,3820	4,2565	0,0483	3,7708	0,000	2,9590	0,000	2,8667	0,000	2,5939	0,000	2,4680	
1200	0,5501	6,1293	0,0696	5,4300	0,000	4,2609	0,000	4,1281	0,000	3,7353	0,000	3,5539	
1400	0,7488	8,3427	0,0947	7,3908	0,000	5,7996	0,000	5,6188	0,000	5,0841	0,000	4,8372	
1600	0,9780	10,8966	0,1237	9,6533	0,000	7,5750	0,000	7,3388	0,000	6,6405	0,000	6,3180	
1800	1,2377	13,7910	0,1566	12,2174	0,000	9,5871	0,000	9,2882	0,000	8,4043	0,000	7,9963	
<b><i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i></b>													
	<b><i>FFS<sub>d</sub> = 100km/h</i></b>												
200	0,0219	0,1713	0,0054	0,1511	0,000	0,1206	0,000	0,1105	0,000	0,0981	0,000	0,0932	
400	0,0875	0,6852	0,0215	0,6046	0,000	0,4824	0,000	0,4419	0,000	0,3925	0,000	0,3726	
600	0,1968	1,5417	0,0483	1,3603	0,000	1,0855	0,000	0,9944	0,000	0,8831	0,000	0,8384	
800	0,3499	2,7408	0,0858	2,4183	0,000	1,9297	0,000	1,7677	0,000	1,5700	0,000	1,4905	
1000	0,5468	4,2825	0,1341	3,7785	0,000	3,0152	0,000	2,7621	0,000	2,4531	0,000	2,3288	
1200	0,7873	6,1668	0,1931	5,4411	0,000	4,3418	0,000	3,9774	0,000	3,5325	0,000	3,3535	
1400	1,0717	8,3936	0,2628	7,4059	0,000	5,9097	0,000	5,4137	0,000	4,8082	0,000	4,5645	
1600	1,3997	10,9631	0,3432	9,6730	0,000	7,7188	0,000	7,0709	0,000	6,2801	0,000	5,9618	
1800	1,7715	13,8752	0,4344	12,2424	0,000	9,7691	0,000	8,9492	0,000	7,9482	0,000	7,5454	
<b><i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i></b>													
	<b><i>FFS<sub>d</sub> = 110km/h</i></b>												
200	0,0107	0,1648	0,000	0,1427	0,000	0,1190	0,000	0,1132	0,000	0,1013	0,000	0,0969	
400	0,0429	0,6592	0,000	0,5708	0,000	0,4759	0,000	0,4528	0,000	0,4052	0,000	0,3877	
600	0,0965	1,4833	0,000	1,2844	0,000	1,0707	0,000	1,0188	0,000	0,9118	0,000	0,8723	
800	0,1716	2,6369	0,000	2,2833	0,000	1,9035	0,000	1,8113	0,000	1,6210	0,000	1,5508	
1000	0,2681	4,1202	0,000	3,5677	0,000	2,9743	0,000	2,8301	0,000	2,5327	0,000	2,4231	
1200	0,3860	5,9331	0,000	5,1375	0,000	4,2830	0,000	4,0754	0,000	3,6471	0,000	3,4893	
1400	0,5254	8,0756	0,000	6,9927	0,000	5,8296	0,000	5,5470	0,000	4,9642	0,000	4,7493	

1600	0,6862	10,5478	0,000	9,1333	0,000	7,6141	0,000	7,2451	0,000	6,4838	0,000	6,2032
1800	0,8685	13,3495	0,000	11,5593	0,000	9,6366	0,000	9,1696	0,000	8,2061	0,000	7,8509

Figura D.18: Fator de ajuste para NPZ - COG 3 – Modelo Quadrático

<b><i>Phv (%)</i></b>													
<b><i>NPZ</i></b>	<b>0</b>		<b>10</b>		<b>20</b>		<b>30</b>		<b>40</b>		<b>50</b>		
	<b>50%</b>	<b>100%</b>											
<b><i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i></b>													
200	0,0126	0,1652	0,0151	0,1588	0,0087	0,1381	0,0056	0,0957	0,0045	0,1220	0,000	0,1050	
400	0,0504	0,6609	0,0603	0,6350	0,0349	0,5525	0,0225	0,3830	0,0178	0,4880	0,000	0,4202	
600	0,1134	1,4869	0,1356	1,4288	0,0785	1,2431	0,0506	0,8617	0,0401	1,0981	0,000	0,9454	
800	0,2015	2,6434	0,2411	2,5401	0,1396	2,2099	0,0899	1,5319	0,0713	1,9522	0,000	1,6807	
1000	0,3149	4,1303	0,3767	3,9690	0,2181	3,4530	0,1405	2,3936	0,1114	3,0503	0,000	2,6261	
1200	0,4534	5,9477	0,5424	5,7153	0,3141	4,9724	0,2023	3,4469	0,1604	4,3924	0,000	3,7816	
1400	0,6172	8,0954	0,7383	7,7792	0,4275	6,7679	0,2754	4,6915	0,2183	5,9786	0,000	5,1471	
1600	0,8061	10,5736	0,9643	10,1606	0,5583	8,8397	0,3597	6,1277	0,2851	7,8088	0,000	6,7228	
1800	1,0203	13,3823	1,2204	12,8595	0,7066	11,1878	0,4553	7,7554	0,3609	9,8830	0,000	8,5085	
<b><i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i></b>													
200	0,0147	0,1865	0,0121	0,1496	0,0092	0,1288	0,0010	0,1007	0,0026	0,1135	0,000	0,0884	
400	0,0590	0,7460	0,0486	0,5983	0,0366	0,5151	0,0042	0,4026	0,0104	0,4541	0,000	0,3535	
600	0,1326	1,6784	0,1093	1,3462	0,0824	1,1589	0,0094	0,9060	0,0234	1,0217	0,000	0,7953	
800	0,2358	2,9838	0,1943	2,3933	0,1464	2,0603	0,0167	1,6106	0,0416	1,8164	0,000	1,4138	
1000	0,3684	4,6622	0,3035	3,7395	0,2288	3,2192	0,0262	2,5165	0,0650	2,8381	0,000	2,2091	
1200	0,5306	6,7136	0,4371	5,3849	0,3295	4,6357	0,0377	3,6238	0,0936	4,0868	0,000	3,1811	
1400	0,7221	9,1379	0,5949	7,3294	0,4485	6,3097	0,0513	4,9324	0,1274	5,5626	0,000	4,3298	
1600	0,9432	11,9352	0,7770	9,5731	0,5858	8,2412	0,0670	6,4423	0,1664	7,2655	0,000	5,6552	
1800	1,1937	15,1055	0,9834	12,1160	0,7414	10,4303	0,0848	8,1536	0,2106	9,1953	0,000	7,1574	
<b><i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i></b>													
200	0,0135	0,1760	0,0089	0,1414	0,000	0,1180	0,000	0,0931	0,000	0,1042	0,000	0,0870	
400	0,0539	0,7041	0,0358	0,5656	0,000	0,4721	0,000	0,3723	0,000	0,4169	0,000	0,3478	
600	0,1213	1,5842	0,0805	1,2725	0,000	1,0622	0,000	0,8376	0,000	0,9381	0,000	0,7826	
800	0,2156	2,8164	0,1430	2,2622	0,000	1,8884	0,000	1,4891	0,000	1,6677	0,000	1,3913	
1000	0,3368	4,4006	0,2235	3,5347	0,000	2,9506	0,000	2,3267	0,000	2,6058	0,000	2,1739	
1200	0,4850	6,3369	0,3218	5,0900	0,000	4,2489	0,000	3,3504	0,000	3,7524	0,000	3,1304	
1400	0,6601	8,6252	0,4380	6,9281	0,000	5,7833	0,000	4,5603	0,000	5,1074	0,000	4,2608	
1600	0,8622	11,2655	0,5721	9,0489	0,000	7,5536	0,000	5,9563	0,000	6,6709	0,000	5,5651	
1800	1,0913	14,2579	0,7241	11,4525	0,000	9,5601	0,000	7,5384	0,000	8,4429	0,000	7,0434	
<b><i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i></b>													
200	0,0227	0,1731	0,0101	0,1442	0,000	0,1169	0,000	0,0915	0,000	0,0974	0,000	0,0842	
400	0,0906	0,6922	0,0404	0,5768	0,000	0,4677	0,000	0,3659	0,000	0,3894	0,000	0,3368	
600	0,2039	1,5575	0,0910	1,2977	0,000	1,0523	0,000	0,8233	0,000	0,8762	0,000	0,7577	
800	0,3625	2,7688	0,1618	2,3071	0,000	1,8708	0,000	1,4636	0,000	1,5578	0,000	1,3470	
1000	0,5665	4,3263	0,2527	3,6048	0,000	2,9231	0,000	2,2870	0,000	2,4340	0,000	2,1047	
1200	0,8157	6,2298	0,3639	5,1909	0,000	4,2093	0,000	3,2932	0,000	3,5050	0,000	3,0308	
1400	1,1103	8,4795	0,4954	7,0654	0,000	5,7293	0,000	4,4824	0,000	4,7707	0,000	4,1253	
1600	1,4502	11,0753	0,6470	9,2282	0,000	7,4832	0,000	5,8546	0,000	6,2311	0,000	5,3881	
1800	1,8353	14,0171	0,8189	11,6795	0,000	9,4709	0,000	7,4097	0,000	7,8862	0,000	6,8194	
<b><i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i></b>													
200	0,0164	0,1688	0,0018	0,1311	0,000	0,1153	0,000	0,0945	0,000	0,1000	0,000	0,0861	
400	0,0657	0,6753	0,0074	0,5244	0,000	0,4610	0,000	0,3780	0,000	0,3998	0,000	0,3443	
600	0,1478	1,5194	0,0166	1,1799	0,000	1,0373	0,000	0,8505	0,000	0,8996	0,000	0,7747	
800	0,2628	2,7011	0,0295	2,0976	0,000	1,8441	0,000	1,5119	0,000	1,5992	0,000	1,3773	
1000	0,4107	4,2205	0,0460	3,2775	0,000	2,8814	0,000	2,3624	0,000	2,4988	0,000	2,1520	
1200	0,5914	6,0775	0,0663	4,7196	0,000	4,1491	0,000	3,4019	0,000	3,5982	0,000	3,0989	
1400	0,8049	8,2722	0,0902	6,4239	0,000	5,6475	0,000	4,6303	0,000	4,8976	0,000	4,2179	
1600	1,0513	10,8045	0,1179	8,3904	0,000	7,3763	0,000	6,0478	0,000	6,3968	0,000	5,5091	

1800	1,3306	13,6745	0,1492	10,6191	0,000	9,3356	0,000	7,6542	0,000	8,0960	0,000	6,9724
------	--------	---------	--------	---------	-------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	--------

---

Figura D.19: Fator de ajuste para NPZ - COG 4 – Modelo Quadrático

<b><i>Phv (%)</i></b>													
<b><i>NPZ</i></b>	<b>0</b>		<b>10</b>		<b>20</b>		<b>30</b>		<b>40</b>		<b>50</b>		
	<b>50%</b>	<b>100%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>	
<b><i>qd(veic/h)</i></b>	<b><i>FFSd = 70km/h</i></b>												
200	0,0703	0,1397	0,0503	0,1195	0,0315	0,0717	0,0174	0,0579	0,0108	0,0396	0,0101	0,0490	
400	0,2811	0,5589	0,2013	0,4782	0,1259	0,2870	0,0696	0,2317	0,0431	0,1582	0,0404	0,1959	
600	0,6325	1,2576	0,4530	1,0759	0,2833	0,6457	0,1566	0,5213	0,0969	0,3560	0,0910	0,4409	
800	1,1245	2,2357	0,8053	1,9128	0,5036	1,1480	0,2784	0,9268	0,1723	0,6329	0,1618	0,7838	
1000	1,7571	3,4934	1,2582	2,9887	0,7869	1,7937	0,4349	1,4481	0,2692	0,9889	0,2528	1,2247	
1200	2,5302	5,0304	1,8118	4,3038	1,1332	2,5830	0,6263	2,0853	0,3877	1,4240	0,3640	1,7635	
1400	3,4439	6,8470	2,4661	5,8579	1,5424	3,5157	0,8525	2,8383	0,5277	1,9382	0,4955	2,4003	
1600	4,4981	8,9430	3,2210	7,6512	2,0146	4,5920	1,1134	3,7071	0,6892	2,5315	0,6472	3,1351	
1800	5,6929	11,3185	4,0766	9,6835	2,5497	5,8117	1,4092	4,6918	0,8723	3,2039	0,8191	3,9679	
<b><i>qd(veic/h)</i></b>	<b><i>FFSd = 80km/h</i></b>												
200	0,0733	0,1354	0,0457	0,1091	0,0226	0,0585	0,0158	0,0521	0,0105	0,0347	0,0043	0,0395	
400	0,2932	0,5415	0,1827	0,4363	0,0904	0,2338	0,0631	0,2083	0,0422	0,1388	0,0174	0,1582	
600	0,6597	1,2185	0,4111	0,9816	0,2035	0,5262	0,1421	0,4687	0,0949	0,3124	0,0391	0,3559	
800	1,1729	2,1661	0,7308	1,7451	0,3617	0,9354	0,2525	0,8333	0,1686	0,5553	0,0695	0,6327	
1000	1,8326	3,3846	1,1419	2,7268	0,5652	1,4616	0,3946	1,3020	0,2635	0,8677	0,1086	0,9886	
1200	2,6390	4,8738	1,6443	3,9266	0,8139	2,1046	0,5682	1,8749	0,3795	1,2495	0,1564	1,4236	
1400	3,5919	6,6338	2,2381	5,3445	1,1078	2,8647	0,7734	2,5520	0,5165	1,7007	0,2129	1,9377	
1600	4,6915	8,6646	2,9232	6,9805	1,4469	3,7416	1,0102	3,3332	0,6746	2,2213	0,2781	2,5309	
1800	5,9377	10,9661	3,6997	8,8348	1,8312	4,7355	1,2785	4,2186	0,8538	2,8113	0,3519	3,2031	
<b><i>qd(veic/h)</i></b>	<b><i>FFSd = 90km/h</i></b>												
200	0,0662	0,1282	0,0386	0,000	0,0152	0,0463	0,0085	0,0420	0,0006	0,0214	0,0025	0,0286	
400	0,2649	0,5129	0,1546	0,000	0,0608	0,1853	0,0338	0,1682	0,0025	0,0857	0,0099	0,1145	
600	0,5960	1,1541	0,3478	0,000	0,1368	0,4169	0,0761	0,3784	0,0055	0,1929	0,0224	0,2576	
800	1,0595	2,0518	0,6182	0,000	0,2431	0,7412	0,1353	0,6727	0,0098	0,3430	0,0398	0,4579	
1000	1,6554	3,2059	0,9660	0,000	0,3799	1,1582	0,2114	1,0511	0,0154	0,5359	0,0622	0,7155	
1200	2,3838	4,6165	1,3910	0,000	0,5471	1,6678	0,3044	1,5136	0,0222	0,7717	0,0895	1,0303	
1400	3,2447	6,2836	1,8933	0,000	0,7446	2,2701	0,4143	2,0602	0,0302	1,0503	0,1219	1,4024	
1600	4,2379	8,2072	2,4729	0,000	0,9726	2,9650	0,5411	2,6909	0,0394	1,3719	0,1592	1,8317	
1800	5,3636	10,3872	3,1298	0,000	1,2309	3,7525	0,6848	3,4057	0,0499	1,7363	0,2015	2,3183	
<b><i>qd(veic/h)</i></b>	<b><i>FFSd = 100km/h</i></b>												
200	0,0845	0,1230	0,0353	0,0899	0,0149	0,0489	0,0101	0,0444	0,0011	0,0211	-0,0035	0,0163	
400	0,3379	0,4918	0,1412	0,3597	0,0595	0,1955	0,0402	0,1778	0,0042	0,0843	-0,0142	0,0652	
600	0,7603	1,1066	0,3178	0,8093	0,1339	0,4399	0,0905	0,4000	0,0095	0,1896	-0,0318	0,1466	
800	1,3517	1,9673	0,5649	1,4387	0,2380	0,7820	0,1609	0,7112	0,0168	0,3371	-0,0566	0,2606	
1000	2,1120	3,0740	0,8826	2,2480	0,3718	1,2218	0,2514	1,1112	0,0263	0,5267	-0,0884	0,4072	
1200	3,0412	4,4265	1,2710	3,2371	0,5354	1,7594	0,3621	1,6002	0,0378	0,7584	-0,1274	0,5864	
1400	4,1395	6,0250	1,7300	4,4061	0,7288	2,3948	0,4928	2,1780	0,0515	1,0323	-0,1734	0,7982	
1600	5,4066	7,8694	2,2596	5,7549	0,9519	3,1279	0,6437	2,8448	0,0673	1,3483	-0,2264	1,0425	
1800	6,8428	9,9596	2,8598	7,2836	1,2047	3,9587	0,8147	3,6004	0,0851	1,7064	-0,2866	1,3195	
<b><i>qd(veic/h)</i></b>	<b><i>FFSd = 110km/h</i></b>												
200	0,0627	0,1179	0,0265	0,0795	0,0165	0,0502	0,0100	0,0438	0,0000	0,0222	0,0012	0,0201	
400	0,2509	0,4715	0,1058	0,3179	0,0662	0,2007	0,0398	0,1750	0,0001	0,0886	0,0047	0,0805	
600	0,5644	1,0610	0,2381	0,7153	0,1489	0,4516	0,0896	0,3939	0,0002	0,1994	0,0105	0,1812	
800	1,0034	1,8862	0,4233	1,2716	0,2647	0,8029	0,1593	0,7002	0,0003	0,3545	0,0187	0,3222	
1000	1,5678	2,9471	0,6614	1,9869	0,4136	1,2545	0,2489	1,0940	0,0004	0,5539	0,0293	0,5034	
1200	2,2577	4,2439	0,9524	2,8612	0,5956	1,8065	0,3585	1,5754	0,0006	0,7977	0,0421	0,7249	
1400	3,0730	5,7764	1,2963	3,8944	0,8107	2,4589	0,4879	2,1443	0,0009	1,0857	0,0573	0,9867	
1600	4,0137	7,5447	1,6931	5,0866	1,0588	3,2116	0,6373	2,8007	0,0011	1,4181	0,0749	1,2888	

1800	5,0798	9,5488	2,1428	6,4377	1,3401	4,0646	0,8065	3,5447	0,0014	1,7948	0,0948	1,6311
------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Figura D.20: Fator de ajuste para NPZ - COG 5 – Modelo Quadrático

<b><i>Phv (%)</i></b>													
<b><i>NPZ</i></b>	<b>0</b>		<b>10</b>		<b>20</b>		<b>30</b>		<b>40</b>		<b>50</b>		
	<b>50%</b>	<b>100%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>	
<b><i>qa(veic/h)</i></b>	<b><i>FFS<sub>d</sub> = 70km/h</i></b>												
200	0,0316	0,1237	0,0230	0,1135	0,000	0,0671	0,000	0,0492	0,000	0,0395	0,000	0,0322	
400	0,1265	0,4949	0,0921	0,4540	0,000	0,2682	0,000	0,1967	0,000	0,1579	0,000	0,1287	
600	0,2847	1,1136	0,2073	1,0214	0,000	0,6035	0,000	0,4426	0,000	0,3552	0,000	0,2895	
800	0,5062	1,9798	0,3686	1,8158	0,000	1,0729	0,000	0,7869	0,000	0,6315	0,000	0,5148	
1000	0,7909	3,0934	0,5759	2,8372	0,000	1,6763	0,000	1,2295	0,000	0,9866	0,000	0,8043	
1200	1,1389	4,4545	0,8293	4,0856	0,000	2,4139	0,000	1,7705	0,000	1,4208	0,000	1,1582	
1400	1,5501	6,0631	1,1287	5,5609	0,000	3,2856	0,000	2,4099	0,000	1,9338	0,000	1,5764	
1600	2,0247	7,9192	1,4742	7,2632	0,000	4,2914	0,000	3,1476	0,000	2,5258	0,000	2,0590	
1800	2,5625	10,0227	1,8658	9,1925	0,000	5,4313	0,000	3,9836	0,000	3,1967	0,000	2,6059	
<b><i>qa(veic/h)</i></b>	<b><i>FFS<sub>d</sub> = 80km/h</i></b>												
200	0,0372	0,1247	0,0175	0,1066	0,000	0,0551	0,000	0,0443	0,000	0,0321	0,000	0,0273	
400	0,1487	0,4987	0,0699	0,4266	0,000	0,2202	0,000	0,1773	0,000	0,1283	0,000	0,1094	
600	0,3346	1,1220	0,1574	0,9598	0,000	0,4955	0,000	0,3988	0,000	0,2888	0,000	0,2461	
800	0,5949	1,9947	0,2798	1,7062	0,000	0,8809	0,000	0,7090	0,000	0,5134	0,000	0,4374	
1000	0,9295	3,1168	0,4371	2,6660	0,000	1,3765	0,000	1,1078	0,000	0,8021	0,000	0,6835	
1200	1,3385	4,4882	0,6295	3,8390	0,000	1,9821	0,000	1,5953	0,000	1,1551	0,000	0,9842	
1400	1,8218	6,1089	0,8568	5,2254	0,000	2,6979	0,000	2,1714	0,000	1,5722	0,000	1,3397	
1600	2,3795	7,9790	1,1191	6,8250	0,000	3,5238	0,000	2,8361	0,000	2,0534	0,000	1,7498	
1800	3,0116	10,0984	1,4164	8,6378	0,000	4,4598	0,000	3,5894	0,000	2,5989	0,000	2,2145	
<b><i>qa(veic/h)</i></b>	<b><i>FFS<sub>d</sub> = 90km/h</i></b>												
200	0,0352	0,1206	0,0058	0,0919	0,000	0,0505	0,000	0,0415	0,000	0,0288	0,000	0,0188	
400	0,1409	0,4822	0,0231	0,3678	0,000	0,2021	0,000	0,1661	0,000	0,1153	0,000	0,0753	
600	0,3171	1,0850	0,0520	0,8275	0,000	0,4548	0,000	0,3738	0,000	0,2595	0,000	0,1694	
800	0,5638	1,9289	0,0924	1,4710	0,000	0,8086	0,000	0,6646	0,000	0,4613	0,000	0,3012	
1000	0,8809	3,0138	0,1443	2,2985	0,000	1,2634	0,000	1,0384	0,000	0,7208	0,000	0,4707	
1200	1,2685	4,3399	0,2078	3,3099	0,000	1,8193	0,000	1,4953	0,000	1,0380	0,000	0,6778	
1400	1,7266	5,9071	0,2829	4,5051	0,000	2,4763	0,000	2,0353	0,000	1,4128	0,000	0,9225	
1600	2,2551	7,7154	0,3694	5,8842	0,000	3,2344	0,000	2,6583	0,000	1,8453	0,000	1,2049	
1800	2,8541	9,7648	0,4676	7,4472	0,000	4,0935	0,000	3,3644	0,000	2,3355	0,000	1,5250	
<b><i>qa(veic/h)</i></b>	<b><i>FFS<sub>d</sub> = 100km/h</i></b>												
200	0,0533	0,1149	0,0038	0,0851	0,000	0,0499	0,000	0,0376	0,000	0,0257	0,000	0,0134	
400	0,2130	0,4597	0,0153	0,3404	0,000	0,1994	0,000	0,1505	0,000	0,1029	0,000	0,0534	
600	0,4793	1,0342	0,0345	0,7658	0,000	0,4487	0,000	0,3386	0,000	0,2314	0,000	0,1203	
800	0,8521	1,8386	0,0613	1,3614	0,000	0,7976	0,000	0,6020	0,000	0,4114	0,000	0,2138	
1000	1,3314	2,8728	0,0958	2,1272	0,000	1,2463	0,000	0,9406	0,000	0,6429	0,000	0,3341	
1200	1,9172	4,1369	0,1379	3,0632	0,000	1,7947	0,000	1,3545	0,000	0,9257	0,000	0,4810	
1400	2,6096	5,6308	0,1878	4,1693	0,000	2,4428	0,000	1,8436	0,000	1,2600	0,000	0,6547	
1600	3,4084	7,3545	0,2452	5,4456	0,000	3,1906	0,000	2,4079	0,000	1,6457	0,000	0,8552	
1800	4,3137	9,3080	0,3104	6,8921	0,000	4,0381	0,000	3,0475	0,000	2,0829	0,000	1,0823	
<b><i>qa(veic/h)</i></b>	<b><i>FFS<sub>d</sub> = 110km/h</i></b>												
200	0,0365	0,1079	0,0040	0,0865	0,000	0,0524	0,000	0,0385	0,000	0,0290	0,000	0,0167	
400	0,1461	0,4316	0,0160	0,3458	0,000	0,2095	0,000	0,1540	0,000	0,1158	0,000	0,0667	
600	0,3287	0,9711	0,0360	0,7781	0,000	0,4713	0,000	0,3465	0,000	0,2606	0,000	0,1501	
800	0,5844	1,7264	0,0639	1,3833	0,000	0,8379	0,000	0,6161	0,000	0,4633	0,000	0,2669	
1000	0,9131	2,6975	0,0999	2,1614	0,000	1,3092	0,000	0,9626	0,000	0,7239	0,000	0,4171	
1200	1,3148	3,8844	0,1439	3,1125	0,000	1,8852	0,000	1,3861	0,000	1,0424	0,000	0,6006	
1400	1,7896	5,2871	0,1958	4,2364	0,000	2,5660	0,000	1,8867	0,000	1,4188	0,000	0,8175	
1600	2,3375	6,9056	0,2558	5,5332	0,000	3,3515	0,000	2,4642	0,000	1,8531	0,000	1,0677	

1800	2,9584	8,7398	0,3237	7,0030	0,000	4,2417	0,000	3,1188	0,000	2,3453	0,000	1,3513
------	--------	--------	--------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	--------	-------	--------

---

## APÊNDICE E

Nesse Apêndice são apresentados os resultados da  $FD_d$  para cada COG dos Modelos Base Linear e Quadrático. AS Tabelas E.1 a E.5 apresentam o  $FD_d$  para o Modelo Linear. As Tabelas E.6 a E.10 são referentes ao Modelo Quadrático.

Tabela E.1: Densidade de Veículos em Pelotão direcional - COG 1, Modelo Linear

		<i>Phv (%)</i>				
		0	10	20	30	40
<i>qd(veic/h)</i>		<i>FFSd = 70km/h</i>				
200	2,4	2,6	2,6	2,7	2,5	2,5
400	4,7	5,1	5,1	5,3	5,0	5,0
600	7,1	7,7	7,7	8,0	7,5	7,4
800	9,4	10,2	10,3	10,7	10,1	9,9
1000	11,8	12,8	12,9	13,4	12,6	12,4
1400	16,5	17,9	18,0	18,7	17,6	17,4
1600	18,8	20,5	20,6	21,4	20,1	19,8
1800	21,2	23,0	23,2	24,1	22,6	22,3
<i>qd(veic/h)</i>		<i>FFSd = 80 km/h</i>				
200	2,2	2,5	2,5	2,6	2,4	2,5
400	4,4	4,9	4,9	5,1	4,8	5,0
600	6,7	7,4	7,4	7,7	7,2	7,4
800	8,9	9,8	9,8	10,2	9,7	9,9
1000	11,1	12,3	12,3	12,8	12,1	12,4
1400	15,6	17,2	17,2	17,9	16,9	17,4
1600	17,8	19,6	19,7	20,5	19,3	19,8
1800	20,0	22,1	22,1	23,0	21,7	22,3
<i>qd(veic/h)</i>		<i>FFSd = 90 km/h</i>				
200	2,1	2,3	2,4	2,5	2,4	2,5
400	4,2	4,7	4,8	5,0	4,7	5,0
600	6,3	7,0	7,2	7,6	7,1	7,4
800	8,5	9,4	9,7	10,1	9,4	9,9
1000	10,6	11,7	12,1	12,6	11,8	12,4
1400	14,8	16,4	16,9	17,7	16,5	17,4
1600	16,9	18,8	19,3	20,2	18,9	19,8
1800	19,0	21,1	21,7	22,7	21,2	22,3
<i>qd(veic/h)</i>		<i>FFSd = 100 km/h</i>				
200	2,0	2,2	2,3	2,7	2,3	2,4
400	4,0	4,5	4,6	5,3	4,6	4,8
600	6,0	6,7	7,0	8,0	6,9	7,1
800	8,0	8,9	9,3	10,7	9,2	9,5
1000	10,0	11,2	11,6	13,4	11,6	11,9
1400	14,1	15,6	16,2	18,7	16,2	16,6
1600	16,1	17,9	18,6	21,4	18,5	19,0
1800	18,1	20,1	20,9	24,1	20,8	21,4
<i>qd(veic/h)</i>		<i>FFSd = 110 km/h</i>				
200	2,6	2,2	2,3	2,4	2,3	2,3
400	5,2	4,5	4,6	4,8	4,5	4,7
600	7,8	6,7	6,9	7,1	6,8	7,0

800	10,4	9,0	9,1	9,5	9,1	9,3
1000	13,0	11,2	11,4	11,9	11,3	11,6
1400	18,1	15,7	16,0	16,7	15,8	16,3
1600	20,7	17,9	18,3	19,0	18,1	18,6
1800	23,3	20,2	20,6	21,4	20,4	21,0

Tabela E.2: Densidade de Veículos em Pelotão direcional - COG 2, Modelo Linear

		Phv (%)				
		0	10	20	30	40
$q_d(\text{veic}/\text{h})$		$FFS_d = 70 \text{ km/h}$				
200	2,1	2,2	2,2	2,3	2,2	2,2
400	4,2	4,3	4,4	4,5	4,5	4,4
600	6,3	6,5	6,7	6,8	6,7	6,6
800	8,4	8,6	8,9	9,0	9,0	8,8
1000	10,5	10,8	11,1	11,3	11,2	10,9
1400	14,7	15,1	15,5	15,8	15,7	15,3
1600	16,8	17,2	17,7	18,1	17,9	17,5
1800	18,9	19,4	20,0	20,4	20,1	19,7
$q_d(\text{veic}/\text{h})$		$FFS_d = 80 \text{ km/h}$				
200	2,0	2,1	2,1	2,2	2,1	2,2
400	3,9	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4
600	5,9	6,3	6,3	6,5	6,4	6,6
800	7,9	8,3	8,5	8,7	8,5	8,8
1000	9,8	10,4	10,6	10,8	10,7	10,9
1400	13,8	14,6	14,8	15,2	15,0	15,3
1600	15,7	16,7	16,9	17,3	17,1	17,5
1800	17,7	18,8	19,0	19,5	19,2	19,7
$q_d(\text{veic}/\text{h})$		$FFS_d = 90 \text{ km/h}$				
200	1,9	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1
400	3,8	4,0	4,2	4,3	4,2	4,2
600	5,6	6,0	6,3	6,4	6,3	6,3
800	7,5	8,0	8,4	8,5	8,4	8,4
1000	9,4	10,0	10,5	10,7	10,5	10,5
1400	13,2	14,0	14,7	14,9	14,7	14,8
1600	15,1	16,0	16,8	17,1	16,8	16,9
1800	16,9	18,0	18,9	19,2	18,9	19,0
$q_d(\text{veic}/\text{h})$		$FFS_d = 100 \text{ km/h}$				
200	1,8	1,9	2,0	2,1	2,0	2,0
400	3,6	3,8	4,0	4,1	4,1	4,0
600	5,4	5,7	6,0	6,2	6,1	6,1
800	7,2	7,6	8,0	8,3	8,2	8,1
1000	9,0	9,5	10,0	10,3	10,2	10,1
1400	12,6	13,3	14,0	14,5	14,3	14,1
1600	14,4	15,2	16,0	16,5	16,4	16,2
1800	16,2	17,1	18,0	18,6	18,4	18,2
$q_d(\text{veic}/\text{h})$		$FFS_d = 110 \text{ km/h}$				
200	1,8	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0
400	3,5	3,8	3,9	4,0	4,0	4,0
600	5,3	5,7	5,9	6,0	6,0	6,0
800	7,0	7,6	7,9	8,0	8,0	7,9
1000	8,8	9,5	9,8	10,0	10,0	9,9
1400	12,3	13,3	13,8	14,1	14,0	13,9
1600	14,1	15,2	15,7	16,1	16,0	15,9
1800	15,9	17,1	17,7	18,1	18,0	17,9

Tabela E.3: Densidade de Veículos em Pelotão direcional - COG 3, Modelo Linear

		Phv (%)				
		0	10	20	30	40
<i>qd(veic/h)</i>		<i>FFSd = 70km/h</i>				
200	2,3	2,4	2,5	2,5	2,4	2,4
400	4,6	4,9	5,0	5,0	4,8	4,8
600	7,0	7,3	7,5	7,4	7,3	7,2
800	9,3	9,7	10,0	9,9	9,7	9,6
1000	11,6	12,1	12,5	12,4	12,1	12,0
1400	16,2	17,0	17,5	17,4	16,9	16,8
1600	18,6	19,4	20,0	19,8	19,3	19,2
1800	20,9	21,8	22,5	22,3	21,8	21,6
<i>qd(veic/h)</i>		<i>FFSd = 80 km/h</i>				
200	2,1	2,3	2,3	2,4	2,3	2,4
400	4,3	4,6	4,7	4,8	4,6	4,8
600	6,4	6,9	7,0	7,2	6,9	7,2
800	8,6	9,2	9,3	9,6	9,3	9,6
1000	10,7	11,6	11,7	12,0	11,6	12,0
1400	15,0	16,2	16,3	16,8	16,2	16,8
1600	17,2	18,5	18,7	19,2	18,5	19,2
1800	19,3	20,8	21,0	21,6	20,8	21,6
<i>qd(veic/h)</i>		<i>FFSd = 90 km/h</i>				
200	2,0	2,2	2,3	2,4	2,3	2,3
400	4,1	4,4	4,6	4,8	4,5	4,6
600	6,1	6,7	6,9	7,1	6,8	7,0
800	8,2	8,9	9,2	9,5	9,1	9,3
1000	10,2	11,1	11,5	11,9	11,3	11,6
1400	14,3	15,6	16,1	16,6	15,9	16,3
1600	16,3	17,8	18,4	19,0	18,2	18,6
1800	18,4	20,0	20,8	21,4	20,4	20,9
<i>qd(veic/h)</i>		<i>FFSd = 100 km/h</i>				
200	1,9	2,1	2,2	2,3	2,2	2,2
400	3,9	4,2	4,4	4,6	4,4	4,5
600	5,8	6,4	6,6	6,9	6,7	6,7
800	7,8	8,5	8,8	9,2	8,9	8,9
1000	9,7	10,6	11,0	11,5	11,1	11,1
1400	13,6	14,8	15,4	16,1	15,6	15,6
1600	15,6	17,0	17,6	18,4	17,8	17,8
1800	17,5	19,1	19,8	20,7	20,0	20,0
<i>qd(veic/h)</i>		<i>FFSd = 110 km/h</i>				
200	1,9	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2
400	3,8	4,2	4,3	4,5	4,3	4,3
600	5,7	6,4	6,5	6,7	6,5	6,5
800	7,5	8,5	8,7	8,9	8,7	8,7
1000	9,4	10,6	10,8	11,2	10,8	10,9
1400	13,2	14,8	15,2	15,6	15,2	15,2
1600	15,1	16,9	17,4	17,9	17,4	17,4
1800	17,0	19,1	19,5	20,1	19,5	19,5

Tabela E.4: Densidade de Veículos em Pelotão direcional - COG 4, Modelo Linear

		Phv (%)					
		0	10	20	30	40	50
<i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i>		<i>FFS<sub>d</sub> = 70 km/h</i>					
200	3,7	3,6	3,7	3,5	3,4	3,0	
400	7,3	7,3	7,3	6,9	6,7	6,0	
600	11,0	10,9	11,0	10,4	10,1	9,0	
800	14,7	14,6	14,6	13,8	13,4	12,0	
1000	18,3	18,2	18,3	17,3	16,8	15,0	
1400	25,7	25,5	25,6	24,2	23,5	21,0	
1600	29,3	29,1	29,2	27,7	26,9	24,0	
1800	33,0	32,8	32,9	31,1	30,3	26,9	
<i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i>		<i>FFS<sub>d</sub> = 80 km/h</i>					
200	3,4	3,5	3,6	3,5	3,4	3,0	
400	6,9	7,0	7,2	6,9	6,7	6,0	
600	10,3	10,4	10,8	10,4	10,1	9,0	
800	13,8	13,9	14,4	13,8	13,4	12,0	
1000	17,2	17,4	17,9	17,3	16,8	15,0	
1400	24,1	24,4	25,1	24,2	23,5	21,0	
1600	27,6	27,9	28,7	27,7	26,8	24,0	
1800	31,0	31,3	32,3	31,1	30,2	26,9	
<i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i>		<i>FFS<sub>d</sub> = 90 km/h</i>					
200	3,3	3,4	3,5	3,4	3,3	3,0	
400	6,6	6,7	7,0	6,8	6,7	6,0	
600	9,8	10,1	10,5	10,2	10,0	8,9	
800	13,1	13,5	14,0	13,6	13,3	11,9	
1000	16,4	16,9	17,5	17,0	16,6	14,9	
1400	22,9	23,6	24,5	23,8	23,3	20,8	
1600	26,2	27,0	28,0	27,2	26,6	23,8	
1800	29,5	30,4	31,5	30,6	29,9	26,8	
<i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i>		<i>FFS<sub>d</sub> = 100 km/h</i>					
200	3,1	3,2	3,3	3,3	3,2	2,9	
400	6,2	6,5	6,7	6,5	6,4	5,8	
600	9,4	9,7	10,0	9,8	9,6	8,7	
800	12,5	13,0	13,3	13,0	12,8	11,6	
1000	15,6	16,2	16,6	16,3	16,1	14,5	
1400	21,8	22,7	23,3	22,8	22,5	20,2	
1600	25,0	26,0	26,6	26,1	25,7	23,1	
1800	28,1	29,2	29,9	29,3	28,9	26,0	
<i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i>		<i>FFS<sub>d</sub> = 110 km/h</i>					
200	3,0	3,2	3,2	3,2	3,1	2,8	
400	6,0	6,4	6,5	6,4	6,3	5,6	
600	9,0	9,6	9,7	9,6	9,4	8,4	
800	12,0	12,8	12,9	12,7	12,5	11,2	
1000	15,0	16,0	16,1	15,9	15,7	14,0	
1400	21,0	22,4	22,6	22,3	21,9	19,5	
1600	24,0	25,6	25,8	25,5	25,1	22,3	
1800	27,0	28,8	29,0	28,7	28,2	25,1	

Tabela E.5: Densidade de Veículos em Pelotão direcional - COG 5, Modelo Linear

		Phv (%)					
		0	10	20	30	40	50
<i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i>		<i>FFS<sub>d</sub> = 70 km/h</i>					
200	3,8	3,6	3,7	3,4	3,1	2,8	
400	7,5	7,2	7,4	6,9	6,3	5,7	
600	11,3	10,8	11,0	10,3	9,4	8,5	
800	15,1	14,4	14,7	13,7	12,5	11,4	
1000	18,8	18,0	18,4	17,2	15,7	14,2	
1400	26,4	25,1	25,7	24,0	22,0	19,9	
1600	30,1	28,7	29,4	27,5	25,1	22,7	
1800	33,9	32,3	33,1	30,9	28,2	25,6	
<i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i>		<i>FFS<sub>d</sub> = 80 km/h</i>					
200	3,5	3,4	3,6	3,4	3,1	2,8	
400	7,0	6,9	7,2	6,7	6,2	5,7	
600	10,5	10,3	10,9	10,1	9,3	8,5	
800	14,1	13,8	14,5	13,4	12,4	11,4	
1000	17,6	17,2	18,1	16,8	15,5	14,2	
1400	24,6	24,1	25,3	23,5	21,7	19,9	
1600	28,1	27,6	28,9	26,8	24,9	22,7	
1800	31,6	31,0	32,6	30,2	28,0	25,6	
<i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i>		<i>FFS<sub>d</sub> = 90 km/h</i>					
200	3,3	3,4	3,5	3,3	3,1	2,8	
400	6,7	6,8	7,0	6,6	6,1	5,7	
600	10,0	10,2	10,5	9,8	9,2	8,5	
800	13,3	13,6	14,0	13,1	12,3	11,3	
1000	16,6	17,0	17,5	16,4	15,3	14,2	
1400	23,3	23,7	24,6	23,0	21,5	19,8	
1600	26,6	27,1	28,1	26,2	24,5	22,7	
1800	30,0	30,5	31,6	29,5	27,6	25,5	
<i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i>		<i>FFS<sub>d</sub> = 100 km/h</i>					
200	3,2	3,3	3,4	3,2	3,0	2,8	
400	6,4	6,5	6,8	6,4	6,0	5,5	
600	9,5	9,8	10,1	9,7	9,0	8,3	
800	12,7	13,1	13,5	12,9	12,0	11,1	
1000	15,9	16,4	16,9	16,1	15,0	13,8	
1400	22,2	22,9	23,6	22,5	21,0	19,4	
1600	25,4	26,2	27,0	25,7	24,0	22,1	
1800	28,6	29,4	30,4	29,0	27,0	24,9	
<i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i>		<i>FFS<sub>d</sub> = 110 km/h</i>					
200	3,1	3,2	3,3	3,1	2,9	2,7	
400	6,1	6,3	6,5	6,3	5,8	5,3	
600	9,2	9,5	9,8	9,4	8,7	8,0	
800	12,2	12,7	13,0	12,6	11,6	10,6	
1000	15,3	15,9	16,3	15,7	14,5	13,3	
1400	21,4	22,2	22,8	22,0	20,4	18,6	
1600	24,4	25,4	26,0	25,2	23,3	21,3	
1800	27,5	28,6	29,3	28,3	26,2	23,9	

Tabela E.6: Densidade de Veículos em Pelotão direcional - COG 1, Modelo Quadrático

<i>Phv (%)</i>						
<i>qd(veic/h)</i>	0	10	20	30	40	50
<b><i>FFSd = 70km/h</i></b>						
200	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
400	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
600	2,7	2,9	3,0	2,9	2,9	2,9
800	4,7	5,2	5,3	5,2	5,2	5,1
1000	7,4	8,2	8,3	8,2	8,2	8,0
1400	10,7	11,8	12,0	11,8	11,7	11,6
1600	14,5	16,0	16,3	16,1	16,0	15,7
1800	19,0	20,9	21,3	21,0	20,9	20,6
<b><i>FFSd = 80 km/h</i></b>						
200	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
400	1,1	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2
600	2,5	2,9	2,9	2,8	2,8	2,8
800	4,5	5,1	5,1	5,1	5,0	4,9
1000	7,1	7,9	8,0	7,9	7,9	7,7
1400	10,2	11,4	11,6	11,4	11,3	11,1
1600	13,9	15,5	15,7	15,5	15,4	15,2
1800	18,1	20,3	20,6	20,2	20,1	19,8
<b><i>FFSd = 90 km/h</i></b>						
200	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
400	1,1	1,2	1,3	1,3	1,2	1,2
600	2,5	2,8	2,9	2,8	2,8	2,8
800	4,4	4,9	5,1	5,0	5,0	4,9
1000	6,8	7,7	8,0	7,9	7,7	7,7
1400	9,8	11,0	11,5	11,3	11,2	11,1
1600	13,4	15,0	15,7	15,4	15,2	15,1
1800	17,4	19,6	20,4	20,1	19,8	19,7
<b><i>FFSd = 100 km/h</i></b>						
200	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
400	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
600	2,4	2,6	2,8	2,8	2,7	2,7
800	4,2	4,7	5,0	4,9	4,9	4,8
1000	6,5	7,3	7,8	7,7	7,6	7,5
1400	9,4	10,6	11,2	11,1	11,0	10,9
1600	12,8	14,4	15,2	15,1	15,0	14,8
1800	16,7	18,8	19,9	19,8	19,6	19,3
<b><i>FFSd = 110 km/h</i></b>						
200	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
400	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
600	2,9	2,6	2,8	2,7	2,7	2,7
800	5,1	4,7	4,9	4,8	4,8	4,8
1000	8,0	7,3	7,7	7,5	7,5	7,4
1400	11,6	10,6	11,1	10,8	10,8	10,7
1600	15,7	14,4	15,1	14,7	14,8	14,6
1800	20,6	18,8	19,7	19,2	19,3	19,0

Tabela E.7: Densidade de Veículos em Pelotão direcional - COG 2, Modelo Quadrático

		Phv (%)					
		0	10	20	30	40	50
$q_d(\text{veic}/\text{h})$		$FFS_d = 70 \text{ km/h}$					
200	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
400	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,1	
600	2,3	2,5	2,5	2,7	2,6	2,5	
800	4,1	4,4	4,5	4,8	4,6	4,4	
1000	6,3	6,9	7,0	7,5	7,3	6,9	
1400	9,1	9,9	10,0	10,8	10,5	9,9	
1600	12,4	13,5	13,7	14,7	14,2	13,4	
1800	16,2	17,6	17,8	19,2	18,6	17,5	
$q_d(\text{veic}/\text{h})$		$FFS_d = 80 \text{ km/h}$					
200	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
400	1,0	1,1	1,1	1,2	1,1	1,1	
600	2,2	2,4	2,4	2,6	2,5	2,5	
800	3,9	4,3	4,3	4,6	4,5	4,4	
1000	6,0	6,7	6,7	7,2	7,0	6,9	
1400	8,7	9,7	9,6	10,4	10,1	9,9	
1600	11,9	13,2	13,1	14,1	13,7	13,4	
1800	15,5	17,3	17,2	18,5	17,9	17,5	
$q_d(\text{veic}/\text{h})$		$FFS_d = 90 \text{ km/h}$					
200	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
400	0,9	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	
600	2,1	2,4	2,4	2,6	2,5	2,4	
800	3,7	4,2	4,3	4,6	4,4	4,3	
1000	5,8	6,6	6,7	7,2	6,9	6,7	
1400	8,4	9,4	9,7	10,3	10,0	9,6	
1600	11,5	12,8	13,2	14,1	13,5	13,0	
1800	15,0	16,8	17,2	18,4	17,7	17,0	
$q_d(\text{veic}/\text{h})$		$FFS_d = 100 \text{ km/h}$					
200	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
400	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,0	
600	2,0	2,3	2,3	2,5	2,4	2,3	
800	3,6	4,0	4,1	4,5	4,3	4,2	
1000	5,7	6,3	6,5	7,0	6,8	6,5	
1400	8,2	9,0	9,3	10,1	9,8	9,4	
1600	11,1	12,3	12,7	13,7	13,3	12,7	
1800	14,5	16,0	16,5	17,9	17,4	16,7	
$q_d(\text{veic}/\text{h})$		$FFS_d = 110 \text{ km/h}$					
200	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
400	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,0	
600	2,0	2,3	2,3	2,5	2,4	2,3	
800	3,6	4,0	4,1	4,4	4,3	4,1	
1000	5,6	6,3	6,4	6,8	6,7	6,4	
1400	8,0	9,1	9,1	9,8	9,6	9,3	
1600	10,9	12,4	12,5	13,3	13,1	12,6	
1800	14,3	16,1	16,3	17,4	17,1	16,5	

Tabela E.8: Densidade de Veículos em Pelotão direcional - COG 3, Modelo Quadrático

		Phv (%)					
		0	10	20	30	40	50
<i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i>		FFS <sub>d</sub> = 70 km/h					
200	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
400	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	
600	2,5	2,8	2,8	2,6	2,8	2,7	
800	4,4	4,9	5,0	4,7	5,0	4,8	
1000	6,9	7,7	7,8	7,3	7,8	7,4	
1400	10,0	11,1	11,2	10,6	11,2	10,7	
1600	13,6	15,1	15,3	14,4	15,3	14,6	
1800	17,8	19,7	20,0	18,8	19,9	19,0	
<i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i>		FFS <sub>d</sub> = 80 km/h					
200	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
400	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	
600	2,3	2,7	2,7	2,6	2,7	2,7	
800	4,1	4,8	4,7	4,6	4,8	4,8	
1000	6,5	7,4	7,4	7,2	7,4	7,4	
1400	9,3	10,7	10,6	10,4	10,7	10,7	
1600	12,7	14,6	14,5	14,2	14,6	14,6	
1800	16,5	19,0	18,9	18,5	19,0	19,0	
<i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i>		FFS <sub>d</sub> = 90 km/h					
200	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
400	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	
600	2,3	2,6	2,7	2,6	2,7	2,6	
800	4,0	4,6	4,7	4,6	4,7	4,6	
1000	6,3	7,3	7,4	7,2	7,4	7,2	
1400	9,0	10,5	10,6	10,4	10,6	10,4	
1600	12,3	14,2	14,5	14,1	14,5	14,2	
1800	16,0	18,6	18,9	18,4	18,9	18,5	
<i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i>		FFS <sub>d</sub> = 100 km/h					
200	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
400	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,1	
600	2,2	2,5	2,6	2,5	2,6	2,5	
800	3,9	4,5	4,6	4,5	4,6	4,5	
1000	6,0	7,0	7,1	7,0	7,3	7,1	
1400	8,7	10,0	10,3	10,1	10,4	10,2	
1600	11,8	13,7	14,0	13,8	14,2	13,9	
1800	15,4	17,9	18,3	18,0	18,6	18,1	
<i>q<sub>d</sub>(veic/h)</i>		FFS <sub>d</sub> = 110 km/h					
200	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
400	0,9	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	
600	2,1	2,5	2,5	2,5	2,6	2,5	
800	3,8	4,5	4,5	4,4	4,5	4,5	
1000	5,9	7,0	7,1	6,8	7,1	7,0	
1400	8,5	10,1	10,2	9,9	10,2	10,0	
1600	11,6	13,7	13,8	13,4	13,9	13,7	
1800	15,1	17,9	18,1	17,5	18,2	17,8	

Tabela E.9: Densidade de Veículos em Pelotão direcional - COG 4, Modelo Quadrático

<i>Phv (%)</i>						
	<i>0</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>30</i>	<i>40</i>	<i>50</i>
<i>FFSd = 70 km/h</i>						
<i>qd(veic/h)</i>						
200	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4
400	1,9	1,8	1,8	1,6	1,6	1,4
600	4,2	4,1	4,0	3,6	3,7	3,2
800	7,4	7,3	7,2	6,5	6,5	5,6
1000	11,6	11,4	11,2	10,1	10,1	8,8
1400	16,7	16,4	16,1	14,5	14,6	12,7
1600	22,8	22,4	21,9	19,8	19,9	17,2
1800	29,7	29,2	28,6	25,9	26,0	22,5
<i>FFSd = 80 km/h</i>						
<i>qd(veic/h)</i>						
200	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
400	1,7	1,8	1,8	1,6	1,6	1,4
600	3,9	3,9	4,0	3,6	3,6	3,2
800	7,0	7,0	7,0	6,5	6,4	5,6
1000	10,9	10,9	11,0	10,1	10,0	8,8
1400	15,7	15,8	15,9	14,6	14,5	12,7
1600	21,4	21,5	21,6	19,8	19,7	17,2
1800	27,9	28,0	28,2	25,9	25,7	22,5
<i>FFSd = 90 km/h</i>						
<i>qd(veic/h)</i>						
200	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
400	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,4
600	3,8	3,9	3,9	3,6	3,6	3,2
800	6,7	6,9	6,9	6,4	6,5	5,6
1000	10,4	10,8	10,9	10,0	10,1	8,8
1400	15,0	15,5	15,6	14,4	14,5	12,6
1600	20,4	21,1	21,3	19,7	19,8	17,2
1800	26,7	27,5	27,8	25,7	25,8	22,4
<i>FFSd = 100 km/h</i>						
<i>qd(veic/h)</i>						
200	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3
400	1,6	1,7	1,7	1,5	1,6	1,4
600	3,6	3,7	3,7	3,5	3,5	3,1
800	6,4	6,6	6,6	6,2	6,2	5,6
1000	10,0	10,3	10,3	9,6	9,7	8,7
1400	14,3	14,9	14,9	13,9	14,0	12,5
1600	19,5	20,2	20,3	18,9	19,1	17,0
1800	25,5	26,4	26,5	24,7	25,0	22,2
<i>FFSd = 110 km/h</i>						
<i>qd(veic/h)</i>						
200	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3
400	1,5	1,6	1,6	1,5	1,5	1,3
600	3,5	3,7	3,6	3,4	3,5	3,0
800	6,2	6,5	6,4	6,1	6,2	5,4
1000	9,6	10,2	10,0	9,5	9,6	8,4
1400	13,9	14,7	14,5	13,7	13,9	12,1
1600	18,9	20,0	19,7	18,6	18,9	16,5
1800	24,6	26,1	25,7	24,3	24,6	21,5

Tabela E.10: Densidade de Veículos em Pelotão direcional - COG 5, Modelo Quadrático

		Phv (%)					
		0	10	20	30	40	50
$q_d(\text{veic}/\text{h})$		$FFS_d = 70 \text{ km/h}$					
200	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	
400	1,9	1,8	1,8	1,8	1,6	1,4	
600	4,2	4,1	4,1	4,1	3,7	3,2	
800	7,5	7,3	7,4	7,3	6,5	5,7	
1000	11,7	11,5	11,5	11,4	10,2	8,9	
1400	16,8	16,5	16,6	16,4	14,7	12,9	
1600	22,9	22,5	22,5	22,3	20,0	17,5	
1800	29,9	29,3	29,4	29,1	26,1	22,8	
$q_d(\text{veic}/\text{h})$		$FFS_d = 80 \text{ km/h}$					
200	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	
400	1,7	1,8	1,8	1,8	1,6	1,4	
600	3,9	4,0	4,1	4,0	3,6	3,2	
800	7,0	7,0	7,3	7,1	6,5	5,7	
1000	10,9	11,0	11,3	11,1	10,1	8,9	
1400	15,7	15,9	16,3	16,0	14,6	12,9	
1600	21,4	21,6	22,2	21,8	19,9	17,5	
1800	27,9	28,2	29,1	28,4	25,9	22,8	
$q_d(\text{veic}/\text{h})$		$FFS_d = 90 \text{ km/h}$					
200	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
400	1,7	1,8	1,8	1,8	1,6	1,4	
600	3,7	4,0	4,0	3,9	3,6	3,2	
800	6,6	7,0	7,1	7,0	6,4	5,7	
1000	10,4	11,0	11,1	11,0	10,0	9,0	
1400	14,9	15,8	16,0	15,8	14,4	12,9	
1600	20,3	21,5	21,8	21,5	19,6	17,5	
1800	26,6	28,1	28,4	28,0	25,6	22,9	
$q_d(\text{veic}/\text{h})$		$FFS_d = 100 \text{ km/h}$					
200	0,40	0,43	0,43	0,43	0,39	0,35	
400	1,59	1,70	1,72	1,72	1,58	1,42	
600	3,57	3,83	3,86	3,86	3,55	3,19	
800	6,35	6,81	6,86	6,87	6,31	5,66	
1000	9,92	10,64	10,72	10,74	9,85	8,85	
1400	14,29	15,32	15,44	15,46	14,19	12,74	
1600	19,45	20,85	21,02	21,04	19,32	17,34	
1800	25,40	27,23	27,45	27,48	25,23	22,65	
$q_d(\text{veic}/\text{h})$		$FFS_d = 110 \text{ km/h}$					
200	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	
400	1,5	1,7	1,7	1,7	1,5	1,4	
600	3,4	3,7	3,7	3,8	3,4	3,1	
800	6,1	6,6	6,6	6,7	6,1	5,4	
1000	9,6	10,4	10,3	10,5	9,6	8,5	
1400	13,8	14,9	14,9	15,2	13,8	12,2	
1600	18,7	20,3	20,3	20,6	18,7	16,7	
1800	24,4	26,6	26,5	27,0	24,5	21,8	

## **ANEXO I – Resumo das atividades**

**ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres**  
**RDT – Recurso de Desenvolvimento Tecnológico**

**RELATÓRIO RESUMO DE ATIVIDADES**  
**Período de abrangência: 01/12/2018 a 31/05/2019**

**MÉTODO PARA CÁLCULO DO NÍVEL DE SERVIÇO EM RODOVIAS DE PISTA SIMPLES: DESENVOLVIMENTO A PARTIR DE DADOS DA RODOVIA BR-040**

**Concessionária da BR-040 S.A.**

## **SUMÁRIO**

<b>1. RESUMO.....</b>	<b>3</b>
<b>2. ATIVIDADES PREVISTAS PARA O PERÍODO.....</b>	<b>4</b>
<b>3. ATIVIDADES EXECUTADAS NO PERÍODO .....</b>	<b>5</b>
<b>4. JUSTIFICATIVAS .....</b>	<b>6</b>
<b>5. RESUMO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS .....</b>	<b>7</b>
<b>6. QUADRO RESUMO - ATIVIDADES PREVISTAS X DESENVOLVIDAS.....</b>	<b>21</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>22</b>

## **1. RESUMO**

Este trabalho, cuja a meta é desenvolver um método adequado para calcular o nível de serviço em rodovias de pista simples a partir de dados de segmentos de rodovias de pista simples da BR-040, foi desenvolvido em 18 meses, com a primeira fase em 6 meses e a segunda fase em 12 meses. A primeira fase foi realizada entre novembro de 2017 e abril de 2018 (6 meses), enquanto o restante do projeto ocorreu entre junho de 2018 e maio de 2019. Em novembro de 2018, foi enviado um relatório parcial; portanto, este Relatório Resumo de Atividades refere-se ao último período de análise do projeto, entre dezembro de 2018 e maio de 2019 (6 meses). Nesse último semestre, os seguintes objetivos específicos foram concluídos: (i) obter uma versão recalibrada capaz de reproduzir a operação dos trechos estudados com um grau de fidelidade adequado (o simulador já havia sido selecionado em períodos anteriores); (ii) estudar as relações entre o fluxo de tráfego e as medidas de desempenho que caracterizem o comportamento das rodovias de pista simples brasileiras; e (iii) estudar o efeito sobre a qualidade de serviço de características da via, como as faixas adicionais e as zonas de ultrapassagens proibidas. Além disso, foram concluídas as seguintes etapas previstas no plano de trabalho nesse último período: (i) Calibração e validação do simulador de tráfego; (ii) relações fundamentais do tráfego; (iii) análise de faixas adicionais e zonas de ultrapassagens proibidas; (iv) determinação de parâmetros de projeto; e (v) critérios para determinação do nível de serviço. Os demais objetivos específicos e etapas metodológicas foram concluídas em períodos anteriores (entre novembro de 2017 e novembro de 2018).

## 2. ATIVIDADES PREVISTAS PARA O PERÍODO

Para atingir a meta proposta para o trabalho, foram propostos quatro objetivos específicos:

9. Obter um conjunto de dados de tráfego representativo de diversas condições operacionais de trechos de rodovias de pista simples;
10. Selecionar um simulador de tráfego para rodovias de pista simples que forneça as informações necessárias para subsidiar o desenvolvimento do método e obter uma versão recalibrada capaz de reproduzir a operação dos trechos estudados com um grau de fidelidade adequado;
11. Estudar as relações entre o fluxo de tráfego e as medidas de desempenho que caracterizem o comportamento das rodovias de pista simples brasileiras; e
12. Estudar o efeito sobre a qualidade de serviço de características da via, como as faixas adicionais e as zonas de ultrapassagens proibidas.

A Figura 1 ilustra o cronograma das atividades previstas em cada fase do projeto, em que é possível perceber as etapas metodológicas relacionadas com este relatório resumido (2<sup>a</sup> fase, Parte 2). Todos os objetivos específicos supracitados foram alcançados. No item a seguir, é possível verificar quais foram as atividades executadas no período.

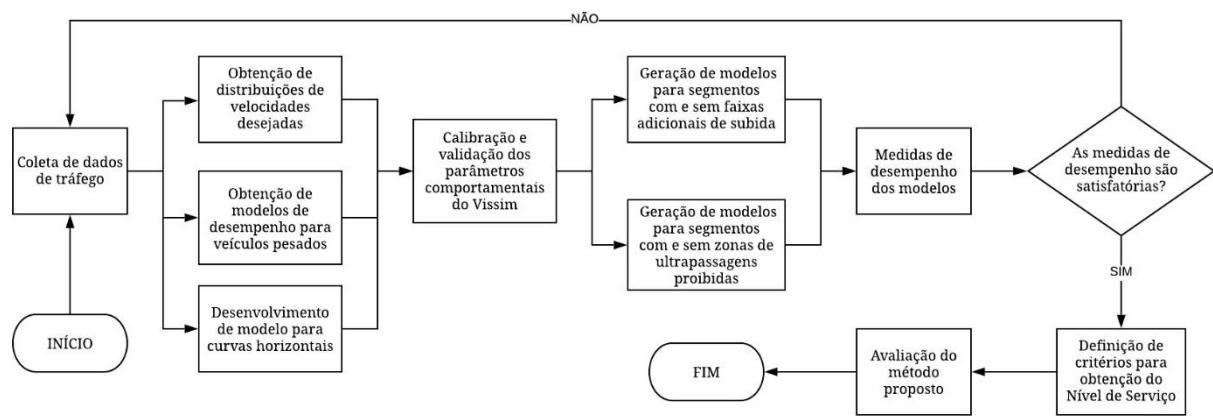
Figura 1: Cronograma de execução do projeto (1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> fases)

Etapas	1 <sup>a</sup> fase		2 <sup>a</sup> fase						
			Parte 1		Parte 2				
	Bimestres								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Revisão da literatura	•	•	•	•	•	•	•	•	•
2. Coleta e tratamento de dados de tráfego			•	•	•				
3. Avaliação, escolha e aprendizado do simulador de tráfego			•	•					
4. Calibração e validação do simulador de tráfego					•	•	•		
5. Relações fundamentais do tráfego								•	
6. Análise de faixas adicionais e zonas de ultrapassagens proibidas							•	•	
7. Determinação de parâmetros de projeto								•	
8. Critérios para determinação do Nível de Serviço									•

### 3. ATIVIDADES EXECUTADAS NO PERÍODO

No item anterior, foi possível verificar as etapas previstas para o projeto. **Das oito etapas metodológicas previstas e supracitadas na Figura 1**, seis (etapas de 1 a 6) foram totalmente realizadas, enquanto que outras duas (etapas 7 e 8) foram parcialmente desenvolvidas. A Figura 2 mostra, em forma de fluxograma, como foi o método desenvolvido para atingir a meta proposta neste projeto (para todo o projeto). As justificativas para o atendimento parcial das etapas 7 e 8 são apresentadas no item a seguir.

Figura 2: Método proposto



#### 4. JUSTIFICATIVAS

Como dito no item anterior, **seis etapas (1 a 6) previstas foram totalmente realizadas, enquanto que outras duas (etapas 7 e 8) foram parcialmente desenvolvidas, pelas seguintes razões:**

- Na Etapa 7, denominada “Determinação de parâmetros de projeto”, o objetivo central era a modelagem de segmentos de rodovias de pista simples no VISSIM; para isso, era necessário encontrar caminhões típicos da BR-040, o que foi feito, com sucesso, para quatro categorias veiculares (leves, médios, pesados e extrapesados) e, portanto, foi importante para a execução das demais etapas do projeto;
- No Plano de Trabalho, para essa Etapa 7, estava previsto estudar valores típicos para o Fator K, variável que, por definição, para a hora de projeto, o percentual do volume horário em relação ao Volume Médio Diário Anual de uma determinada rodovia; esse fator K, se calculado para a BR-040, representaria a realidade apenas para essa rodovia, pois depende da demanda atual, não podendo ser extrapolado para outros locais; além disso, não contribui para atingir o objetivo geral da pesquisa, havendo mais sentido obter o fator K para aplicação do método proposto neste estudo (portanto, *a posteriori*);
- Outra questão que foi planejada para ser tratada na Etapa 7 é volume de gatilho que determinaria obras de melhoramento numa rodovia de pista simples; assim como o item anterior, essa questão acabou não sendo relevante para se atingir o objetivo geral da pesquisa, além de ter se mostrado uma questão que foge do escopo e demanda um tempo muito maior de análise do que se tinha (de 18 meses); vale ressaltar, ainda, que essa avaliação tem que ser confrontada com questões como análises de custo-benefício, o que leva a crer que, embora correlacionada com o projeto desenvolvido, na verdade é uma questão que surge como uma recomendação para trabalhos futuros, a fim de que, de fato, ela seja melhor analisada.
- A Etapa 8, de definição de critérios para obtenção do nível de serviço, foi realizada, mas não levando-se em conta a opinião do usuário, como planejado; outras etapas acabaram demandando bem mais atenção, o que indica que, assim como no item anterior, o prazo se mostrou exíguo e o assunto seria melhor tratado em uma pesquisa futura.

## 5. RESUMO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Como citado anteriormente, foram concluídas as seguintes etapas previstas nesse último período do projeto, apresentadas, na sequência, na seguinte ordem: (i) determinação de parâmetros de projeto; (ii) calibração e validação do simulador de tráfego; (iii) relações fundamentais do tráfego; (iv) análise de faixas adicionais e zonas de ultrapassagens proibidas; e (v) critérios para determinação do nível de serviço.

### 5.1. Determinação de parâmetros de projeto

O modelo de desempenho dos veículos pesados para inclusão no VISSIM foi calibrado para quatro categorias desses veículos: leves, médios, pesados e extrapesados. Foram desenvolvidas distribuições de frequência da massa desses veículos a partir de dados coletados em balanças móveis posicionadas entre o km 47 e o km 767 da BR-040. Foram também desenvolvidas distribuições de frequência da potência dessas quatro categorias veiculares a partir de dados de 450 veículos que passaram em frente ao Posto da Polícia Rodoviária Federal posicionado no km 554 da BR-040. O modelo de desempenho veicular do VISSIM também exige que sejam informadas distribuições de frequência acerca da aceleração máxima e desejada dos veículos, que foram estabelecidas com o auxílio do TruPer (Demarchi, 2000).

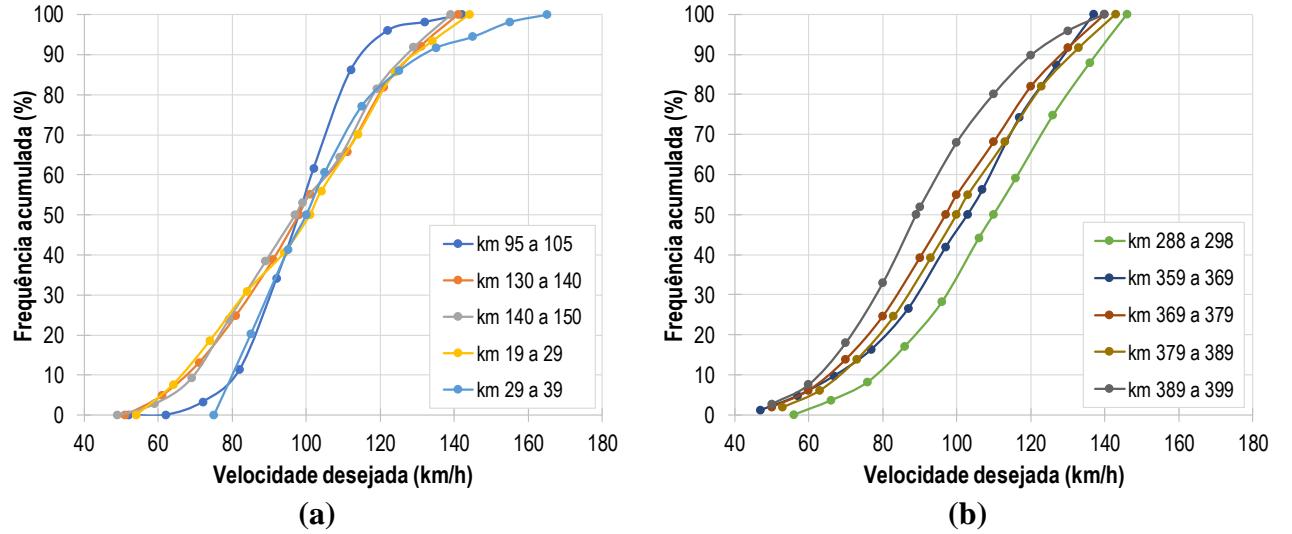
### 5.2. Calibração e validação do simulador de tráfego

O VISSIM é um simulador microscópico de tráfego que permite criar diferentes cenários de tráfego com uma abordagem dinâmica e estocástica (PTV, 2018). Possui submodelos comportamentais, como os de *car-following*, de mudança de faixas, de aceitação de brechas e de desempenho veicular. Como cada grupo de parâmetros comportamentais de motoristas inclui inúmeras possibilidades de calibração, Hollander e Liu (2008) propõem organizá-los nos seguintes grupos: (i) parâmetros facilmente obtidos em campo; (ii) parâmetros disponíveis em estudos anteriores e que podem ser replicados para a situação de análise; (iii) parâmetros que não influenciam os dados de saída e, portanto, não precisam ser selecionados para calibração; (iv) parâmetros que não são necessários na modelagem; e (v) todos os demais parâmetros, que devem ser calibrados por algum método. Essa recomendação foi considerada

neste trabalho, como mostra as seções a seguir.

As distribuições de velocidades desejadas foram obtidas de dados pontuais, resultado dos registros da velocidade nos momentos de passagem nas entradas e saídas das seções dos segmentos viários filmados. Com esses dados, foi possível observar os veículos que estiveram em pelotões, com *headways* iguais ou menores que 2,5 segundos (Washburn *et al.*, 2018). Os veículos que foram observados com *headways* maiores que 2,5 segundos são considerados livres, que, teoricamente, trafegam na velocidade desejada, definição que está em conformidade com o VISSIM. Na Figura 3, é possível observar as distribuições de velocidades desejadas estimadas para os segmentos viários analisados, obtidas tanto na primeira quanto na segunda coleta de dados realizada com filmadoras.

Figura 3: Distribuições de velocidades desejadas nos segmentos da BR-040 observados nos feriados da Semana Santa (a) e da Independência (b) de 2018



Foram identificados, no VISSIM, 38 parâmetros de submodelos comportamentais. Foi realizado um teste de sensibilidade de modo a verificar quais desses parâmetros comportamentais são mais relevantes para calibração (Lacerda, 2016). Consiste em alterar os parâmetros dos modelos do VISSIM a fim de verificar o impacto nos resultados da simulação. Para isso, foram escolhidos, como medidas de desempenho, a Velocidade Média de Viagem (ATS) e a Porcentagem de Veículos em Pelotões (PF), por sentido de tráfego. Então, foram calculados Intervalos de Confiança (IC's) das diferenças dos resultados quando cada parâmetro é alterado,

em relação aos resultados usando-se os parâmetros *default* sugeridos pelo VISSIM. Caso os IC's contenham o zero ou sejam pequenos, a influência do parâmetro na medida de desempenho é considerada pequena.

Para a realização da análise de sensibilidade, foram simulados os segmentos entre os km's 95 e 105, e entre os km's 288 e 298, escolhidos por apresentarem uma maior amplitude de fluxo de tráfego. No VISSIM, para esses trechos modelados, todos os 38 parâmetros comportamentais foram alterados isoladamente, por duas vezes: usando-se os valores mínimo e máximo do intervalo de busca estabelecido para cada parâmetro. Foram obtidos os resultados de simulação que foram comparados com os resultados obtidos com os parâmetros *default*, calculando-se a média, o desvio padrão e o intervalo de confiança das diferenças absolutas dos resultados das simulações. Seis parâmetros foram identificados como relevantes para calibração: (i) *Look Ahead Maximum Distance* (*LookAheadDistMax*); (ii) *Observed Vehicles* (*ObsrvdVehs*); (iii) *Safety distance reduction fator - lane change* (*SafDistFactLnCg*); (iv) *W99cc1Distr*; (v) *W99cc3*; e (vi) *Lateral Minimum Distance at 50 km/h* (*LatDistDrivDef*).

Dois desses parâmetros, o *LatDistDrivDef* e o *SafDistFactLnChg*, puderam ser obtidos através das filmagens com o drone. De acordo com o Manual do VISSIM (PTV, 2018), o *LatDistDrivDef* é a distância mínima, em relação à faixa adjacente, mantida pelos veículos que ultrapassam pela faixa do sentido oposto, a 50 km/h. Para calibrar esse parâmetro, foi observado, com o uso do Drone, o comportamento dos veículos quando realizavam as ultrapassagens, capturando-se a distância lateral e a velocidade em que os veículos realizavam as manobras. Foram coletadas informações de 31 manobras de ultrapassagens. A distribuição das distâncias laterais obtidas foi melhor representada pela mediana, devido a assimetria da amostra. Assim, o valor estimado para *LatDistDrivDef* foi de 1,12 m, valor que é menos agressivo que o valor *default* do VISSIM, de 1,00 m.

Apesar de relevante, o *LatDistDrivDef* se mostrou menos impactante na simulação do que o *SafDistFactLnChg*, que é um fator de redução da distância de segurança desejada para a realização das mudanças de faixa, produto da distância de segurança desejada pelo fator de redução da distância de segurança. Esse fator pode ser definido como a razão da distância final

de aproximação do veículo que realizar a ultrapassagem pela distância mantida pelos veículos em *following*, mas que não desejam realizar ultrapassagens. De posse das 31 ultrapassagens registradas com o drone, foram coletadas as distâncias que os veículos mantiveram quando atrás de outros veículos e foram observadas as distâncias dos veículos que iniciam as ultrapassagens no início da manobra. O valor *default* do VISSIM para o parâmetro é de 0,6 m, enquanto, para a amostra das ultrapassagens observadas, o parâmetro obtido foi igual a 0,36 m (mais agressivo).

Os demais quatro parâmetros relevantes para calibração foram estimados com o uso de um Algoritmo Genético (AG), que é baseado em outro aplicado em estudos anteriores (Bessa Jr. *et al.*, 2017; Bessa Jr. e Setti, 2018). Como citado em Lacerda (2016), se um processo de calibração não for bem delineado, parâmetros comportamentais dos simuladores de tráfego podem ter valores de calibração inadequados (agressivos demais, por exemplo). Sendo assim, outros parâmetros calibrados também podem ser inadequados, mas em outro sentido (muito conservadores, por exemplo), na tentativa de compensar os erros atribuídos aos primeiros parâmetros. A aplicação tradicional dos AG's para calibrar simuladores de tráfego na obtenção dos parâmetros comportamentais é susceptível a esse tipo de erro.

Para evitar esse problema, a criação da população (de 10 indivíduos) do AG foi baseada no intervalo de busca dos parâmetros de calibração que os compõe, com cada um deles associado a um determinado nível de agressividade: baixo, médio e alto (intervalos de busca divididos em três partes). Cada cromossomo representa um conjunto de parâmetros de calibração que são inseridos nos arquivos de entrada de metade das correntes de tráfego de 15 minutos obtidas por filmagens. A outra metade foi usada para realizar a validação do AG e, também, para validar os modelos de tráfego obtidos. O grau de adaptação (qualidade) de cada indivíduo da população é determinado por meio de uma função objetivo (*fitness*), a raiz do erro quadrático médio (*RMSE*), que tem, como principal vantagem, penalizar àquelas soluções que produzem grandes erros absolutos. A formulação de *RMSE* é dada por:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^2 \sum_{w=1}^2 (y_{ikw} - x_{ikw})^2}, \quad (1)$$

em que  $y_{ikw}$  é a velocidade média de viagem obtida na simulação, para a corrente de tráfego

$i$ , sentido de tráfego  $k$  (leste ou oeste) e tipo de veículo  $w$  (automóvel ou veículo pesado);  $x_{ikw}$  é a velocidade média de viagem obtida em campo, para a corrente de tráfego  $i$ , sentido de tráfego  $k$  e tipo de veículo  $w$ ; a variável  $n$  representa a metade das correntes de tráfego de 15 minutos da amostra; e  $N$  representa o total de velocidades médias avaliadas na amostra (que é igual a  $4n$ ).

Se a máxima geração (30) não tiver sido atingida, os operadores genéticos são acionados para produzir uma nova geração da população. O tipo de seleção de dois indivíduos (pais) para realização de cruzamento (*crossover*) é baseado na técnica da roleta (Goldberg, 1989), em que a probabilidade de serem selecionados é função do seu grau de adaptação ao meio (*fitness*). Portanto, quanto menor for o *RMSE* do indivíduo, mais chance ele tem de ser selecionado para realização de cruzamento. O novo cromossomo de um indivíduo da geração seguinte possui genes (parâmetros de calibração) que são resultados da média aritmética dos genes dos seus pais. Os outros operadores genéticos, mutação e predição, que ajudam a inserir diversidade na população, possuem, respectivamente, taxas de 30% e 20%, e são aplicadas a cada duas gerações. Com a aplicação do *crossover*, é possível que alguns genes dos indivíduos de uma nova geração da população tenham agressividades diferentes daquelas definidas no início do processo de calibração (baixo, médio ou alto). Nesses casos, cada gene deve ser substituído por um outro produzido aleatoriamente com base no seu respectivo espaço de busca, de acordo com seu nível de agressividade. Esse processo foi denominado de “alteração genética”.

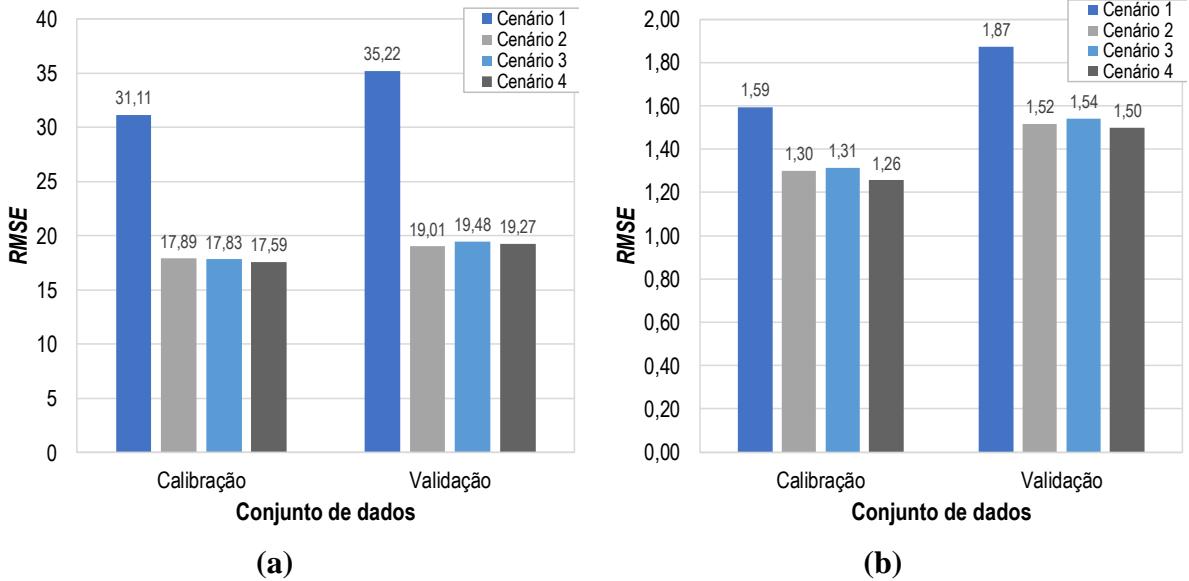
A aplicação do AG apresentou uma leve melhora em relação à utilização dos parâmetros *default*. Isso pode ser justificado em função da quantidade pequena de parâmetros a serem calibrados. Além disso, o processo de ajuste dos parâmetros inicia-se, de fato, com a calibração das curvas de velocidades desejadas, dos modelos de desempenho dos veículos pesados e dos dois parâmetros em campo estimados a partir de filmagens com Drone – *LatDistDrivDef* e *SafDistFactLnChg*. Com relação aos resultados dos parâmetros calibrados pelo AG, todos os valores foram considerados mais agressivos dos que os valores *default* do VISSIM: *LookAheadDistMax* = 419 veículos; *ObsrvdVehs* = 7 veículos; e *W99cc3* = -2,6 s. A exceção ficou por conta do *W99cc1Distr*, que permaneceu com o mesmo valor *default* do VISSIM (tipo 1).

Com o intuito de avaliar o efeito de cada passo realizado no processo de calibração e validação do VISSIM, foram analisados os resultados das simulações provenientes dos seguintes cenários:

- Cenário 1: Distribuições de velocidades desejadas, modelos de desempenho veicular e parâmetros comportamentais fornecidos pelo VISSIM (*default*);
- Cenário 2: Distribuições de velocidades desejadas obtidos em campo, com os modelos de desempenho veicular e os parâmetros comportamentais *default*;
- Cenário 3: Distribuições de velocidades desejadas e modelos de desempenho veicular obtidos em campo, e parâmetros comportamentais em modo *default*; e
- Cenário 4: Todos os parâmetros foram calibrados e validados às condições locais: distribuições de velocidades desejadas, modelos de desempenho veicular e submodelos comportamentais do VISSIM.

Da Figura 4, é possível perceber que o maior impacto ocorreu com a obtenção das distribuições de velocidades desejadas em campo, tanto para *ATS* (medida de desempenho usada na aplicação do AG) quanto para *FD* (que é a medida de desempenho usada na obtenção dos modelos de tráfego apresentada nas seções a seguir). Avaliando-se os cenários 1 e 4 – quando todos os parâmetros estão em *default* e quando todos os parâmetros foram ajustados – percebe-se uma diminuição nos valores de RMSE de 43,5% quando se avaliou *ATS* e o conjunto de dados usado na calibração do simulador, resultado que é similar ao que ocorreu com o conjunto de dados da validação (45,30%), como é visto na Figura 4a. O mesmo padrão pode ser observado na Figura 4b, ao se analisar os resultados de *RMSE* aplicado à medida de desempenho *FD*. A redução na função objetivo, entre os cenários 1 e 4, foi de 21,2% para o conjunto de dados da calibração e 20,1% para os dados usados na validação do simulador.

Figura 4: Valores de *RMSE* obtidos durante o processo de calibração e de validação do VISSIM, para análise de *ATS* (a) e de *FD* (b)



### 5.3. Relações fundamentais do tráfego

No relatório do NCHRP Project 17-65 (Washburn *et al.*, 2018), foram propostas cinco classes para representar o alinhamento vertical, em função do comprimento e da rampa do segmento viário. A classe 1 corresponde a um impacto baixo nas condições de tráfego, que vai aumentando até a classe 5, que apresenta um grande impacto na operação. Da mesma forma, o alinhamento horizontal é categorizado em cinco classes, dados em função do raio e da superelevação das curvas. Portanto, as estimativas das medidas de desempenho para cálculo do nível de serviço são realizadas combinando-se segmentos com curva horizontal e em tangente.

A classificação do alinhamento vertical é baseada na redução da velocidade de entrada de um veículo pesado típico num trecho com uma rampa. Neste trabalho, foram realizados experimentos de simulação, no VISSIM, de forma a se identificar esses impactos das rampas num veículo pesado típico de projeto com relação massa/potência de 175 kg/kW, que representa o 85º percentil da distribuição de veículos pesados da amostra obtida nesta pesquisa numa balança móvel da BR-040. A velocidade de entrada no trecho com rampa foi de 105 km/h, a mesma escolhida nos experimentos para o novo método do HCM. A Tabela 1 ilustra a classificação do alinhamento vertical – ou Classe da Rampa (COG) – obtida para este trabalho, que é significativamente diferente da tabela obtida no NCHRP Project 17-65,

com implicações importantes na obtenção dos modelos de tráfego.

Tabela 1: Classificação do alinhamento vertical

Comprimento do segmento (m)	Rampa (%)																	
	1	-1	2	-2	3	-3	4	-4	5	-5	6	-6	7	-7	8	-8	9	-9
	Classe da rampa (COG)																	
$\leq 200$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
$> 200 < 400$	1	1	1	1	2	2	2	2	1	3	2	3	3	4	3	4	4	4
$\geq 400 < 600$	1	1	2	2	2	2	3	3	4	4	4	5	5	5	4	5	5	
$\geq 600 < 800$	1	1	2	2	3	2	4	4	5	4	5	5	5	5	4	5	5	
$\geq 800 < 1000$	2	2	3	3	4	3	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\geq 1000 < 1200$	2	2	3	3	4	3	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\geq 1200 < 1400$	2	2	3	3	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	
$\geq 1400 < 2400$	3	3	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\geq 2400$	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	

A *FD* (dada em veic/km), medida de desempenho que foi proposta no NCHRP Project 17-65 como alternativa à *ATS* e à Porcentagem de Tempo Viajando em Pelotões (*PTSF*) como medidas de serviço voltadas para rodovias de pista simples, reflete a proximidade dos veículos, as oportunidades de realização de manobras de ultrapassagens e o desconforto dos motoristas ao trafegarem em pelotões. Ela pode ser calculada, para um sentido de tráfego, pela seguinte equação:

$$FD = \frac{PF}{100} \cdot \frac{v_d}{ATS}, \quad (3)$$

em que *PF* é a porcentagem de veículos em pelotões; *v<sub>d</sub>* é o fluxo de tráfego (cpe/h); e *ATS* é a velocidade média de viagem (km/h).

No método proposto por Washburn *et al.* (2018), o cálculo da *FD* para obter o nível de serviço é realizado em várias etapas que incluem a realização de ajustes para condições que não sejam básicas, e consiste em obter, para aplicação da Equação 3, os valores de *ATS*, *PF* e *v<sub>d</sub>*. As três variáveis dependem de condições como a velocidade de fluxo livre (*FFS*), as classes dos alinhamentos vertical e horizontal, a porcentagem de veículos pesados (*P<sub>hv</sub>*), o fluxo oposto (*v<sub>o</sub>*) e o comprimento da faixa adicional (*L*), se houver.

Neste trabalho, com a obtenção das classes do alinhamento vertical, foram desenvolvidos modelos que correlacionavam fluxo unidirecional (*q<sub>d</sub>*), em veic/h, e *FD*, em função de COG, *P<sub>hv</sub>* e *FFS*. Foram criados, no VISSIM, 10 segmentos viários hipotéticos de 10 km para cada COG, alternando-se segmentos de subida e de descida, com a inclinação e o comprimento

definidos randomicamente em função da Tabela 1. Os trechos hipotéticos foram usados para gerar modelos: (i) sem faixas adicionais e sem proibição de ultrapassagens (aqui denominados de “modelos-base”); e (ii) com a inserção de faixas adicionais. A  $FD$  de um segmento foi calculada em função da média ponderada dos  $FDS$  dos subsegmentos, com o peso sendo o comprimento do trecho.

A  $FFS$  foi simulada de 70 a 110 km/h, variando-se de 10 em 10 km/h. Para as porcentagens de veículos pesados ( $P_{hv}$ ), foram considerados de 0% a 50% da corrente de tráfego, variando-se de 10% em 10%. Considerando as cinco categorias de alinhamento vertical, foram realizadas, portanto,  $5 \times 6 \times 5 = 150$  relações fluxo- $FD$  unidirecionais. Para produzir cada um desses modelos, foram simuladas 100 correntes de tráfego, o que resultou em  $100 \times 150 = 15.000$  simulações no total. Foi utilizado um modelo quadrático entre  $q_d$  e  $FD_d$ :

$$FD_d = a.q_d^2, \quad (4)$$

em que  $a$  é um parâmetro de calibração. Na Tabela 2, é possível verificar, como exemplo, os parâmetros  $a$  encontrados para  $P_{hv} = 20\%$ . Os valores intermediários de  $a$  para valores de COG,  $P_{hv}$  e  $FFS$  diferentes dos apresentados na Tabela 2 devem ser obtidos por meio de interpolação linear.

Tabela 2: Parâmetros dos modelos-base de  $FD_d$  quadrático, para  $P_{hv} = 20\%$

FFS (km/h)	$P_{hv} = 20\%$									
	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	$a$	$R^2$	$a$	$R^2$	$a$	$R^2$	$a$	$R^2$	$a$	$R^2$
70	0,0000083	0,9392	0,0000070	0,9549	0,0000078	0,9522	0,0000112	0,9738	0,0000115	0,9770
80	0,0000080	0,9384	0,0000067	0,9615	0,0000074	0,9597	0,0000110	0,9742	0,0000113	0,9753
90	0,0000080	0,9416	0,0000067	0,9605	0,0000074	0,9606	0,0000109	0,9741	0,0000111	0,9769
100	0,0000078	0,9474	0,0000065	0,9680	0,0000071	0,9662	0,0000103	0,9770	0,0000107	0,9776
110	0,0000077	0,9461	0,0000064	0,9647	0,0000071	0,9653	0,0000100	0,9757	0,0000103	0,9781

#### 5.4. Análise de faixas adicionais e zonas de ultrapassagens proibidas

Com os resultados das simulações para trechos com faixas adicionais e, em outro momento, com a inclusão de zonas de ultrapassagens proibidas, foram realizadas regressões considerando-se o modelo da Equação 4, com a obtenção de outros parâmetros  $a$ . Foram calculados fatores de ajuste, como é o caso para as faixas adicionais de subida,  $f_{fa}$ , que consistem na diferença entre a

$FD_d$  do modelo-base pela  $FD_{fas}$  ( $FD$  com faixas adicionais):

$$f_{fa} = FD_d - FD_{fas}. \quad (5)$$

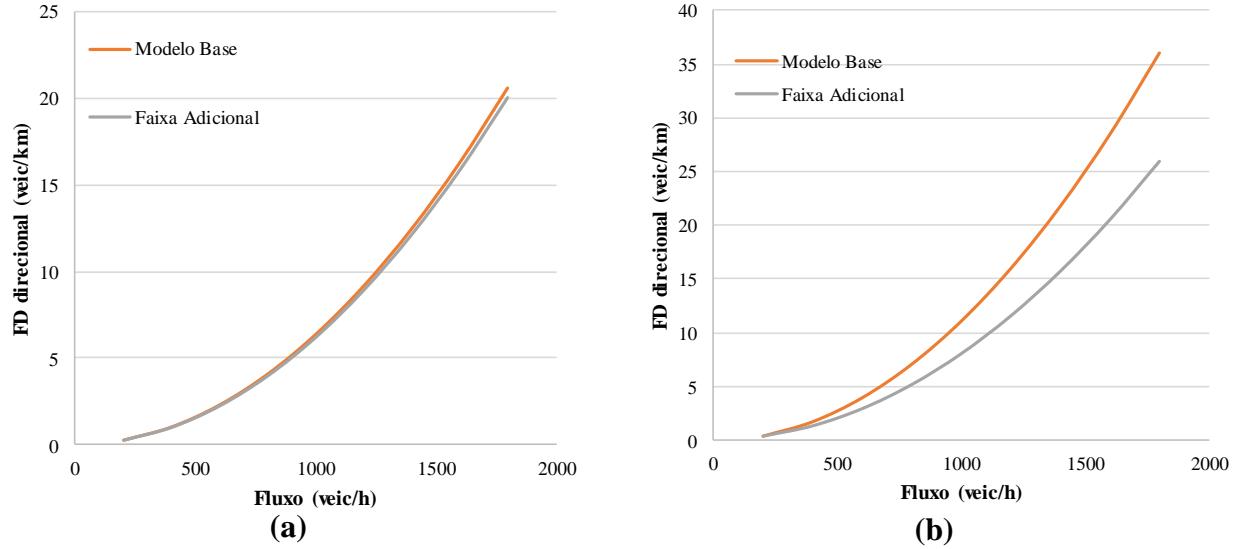
Na Tabela 3, é possível verificar, como exemplo, os valores de  $f_{fa}$  para  $COG = 4$  e  $FFS = 90$  km/h. Os valores intermediários de  $f_{fa}$  para valores de  $P_{hv}$  e  $FFS$  diferentes dos apresentados na Tabela 3 devem ser obtidos por meio de interpolação linear.

Tabela 3: Fatores de ajuste para faixas adicionais de subida, com  $COG = 4$  e  $FFS = 90$  km/h

$q_d$ (veic/h)	$P_{hv}$ (%)					
	0	10	20	30	40	50
$FFS = 90$ km/h						
200	0,0605	0,0963	0,1105	0,0972	0,0967	0,0945
400	0,2419	0,3851	0,4421	0,3886	0,3870	0,3781
600	0,5442	0,8664	0,9947	0,8744	0,8707	0,8506
800	0,9675	1,5403	1,7684	1,5544	1,5480	1,5122
1000	1,5117	2,4068	2,7631	2,4288	2,4187	2,3629
1200	2,1769	3,4657	3,9789	3,4974	3,4830	3,4025
1400	2,9630	4,7172	5,4157	4,7604	4,7407	4,6312
1600	3,8700	6,1613	7,0736	6,2177	6,1919	6,0489
1800	4,8980	7,7979	8,9525	7,8693	7,8367	7,6557

Na Figura 5, observam-se exemplos do modelo-base e do modelo, para o caso com faixas adicionais, para  $COG = 2$  e  $COG = 5$ , com  $FFS = 110$  km/h e  $P_{hv} = 20\%$ . O impacto das faixas adicionais foi mais evidente de acordo com as combinações dos parâmetros do modelo  $FFS$ ,  $P_{hv}$  e  $q_d$ , mas, principalmente, em função do  $COG$ , pois o relevo impacta mais os veículos, especialmente os pesados. Para o  $COG = 2$ , a faixa adicional apresentou pouca influência no resultado da  $FD_d$ , com a maior redução na  $FD_d$  obtida com  $P_{hv} = 20\%$  para todas as  $FFS$ . Com  $COG = 5$ , os maiores  $f_{fa}$  foram percebidos com  $P_{hv} = 20\%$  para todos as  $FFS$ , com exceção da  $FFS = 110$  km/h, em que o maior efeito foi observado com  $P_{hv} = 30\%$ . Para todas as  $FFS$ , os menores impactos foram registrados com  $P_{hv} = 50\%$ .

Figura 5: Exemplos de modelo-base e modelo com faixas adicionais para  $COG = 2$ ,  $FFS = 110 \text{ km/h}$  e  $P_{hv} = 20\%$  (a); e  $COG = 5$ ,  $FFS = 110 \text{ km/h}$  e  $P_{hv} = 20\%$



### 5.5. Critérios para determinação do nível de serviço

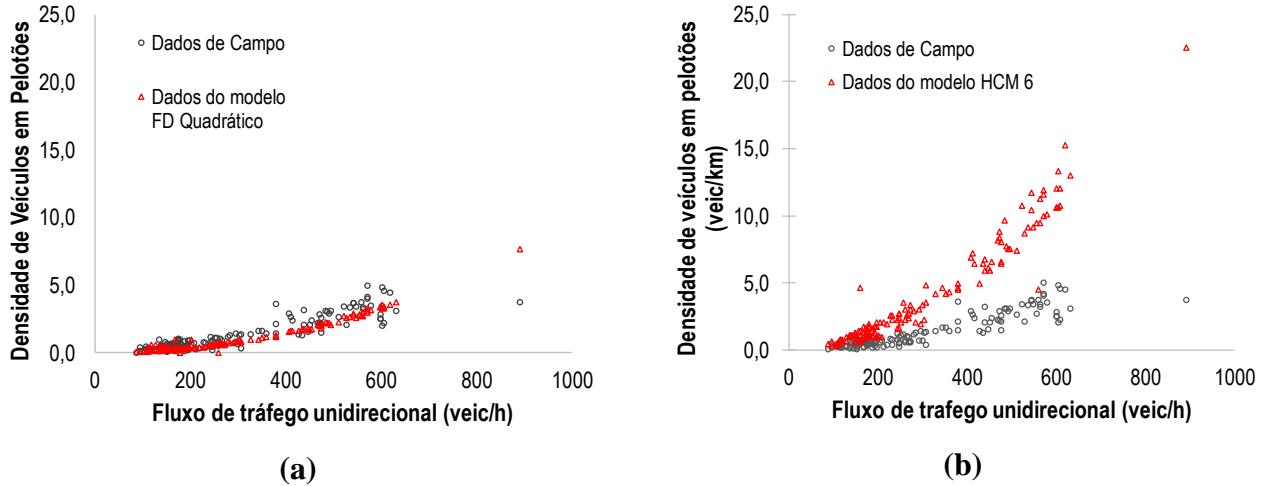
Foi estabelecido um critério de determinação do nível de serviço de rodovias de pistas simples a partir de  $FD_d$ , da forma como proposto por Washburn *et al.* (2018) para o HCM-6. O método consiste em determinar os volumes de serviço – ou seja, aqueles volumes que determinam a mudança do nível de serviço – partindo-se do modelo-base e em condições bem favoráveis ( $COG = 1$  e  $P_{hv} = 0\%$ ) para o método do NCHRP *Project 17-65*. Com esses volumes de serviço, determina-se os valores de  $FD_d$  correspondentes ao modelo-base, com  $COG = 1$  e  $P_{hv} = 0\%$ , para o modelo proposto neste trabalho. Os valores de  $FD_d$  encontrados determinam os intervalos dos diferentes níveis de serviço. Na Tabela 4, é possível encontrar os critérios obtidos para o modelo proposto nesta pesquisa, além do critério do NCHRP *Project 17-65*.

Tabela 4: Critérios de obtenção de nível de serviço em função de  $FD$

Nível de Serviço	Critério proposto ( $FD_d$ Quadrático)	NCHRP Project 17-65	
		Rodovias com velocidade regulamentar $\geq 80$ km/h	Rodovias com velocidade regulamentar $\leq 80$ km/h
A	$\leq 1,2$	$\leq 3,2$	$\leq 4$
B	$> 1,2 - 2,7$	$> 3,2 - 6,4$	$> 4 - 8$
C	$> 2,7 - 4,7$	$> 6,4 - 12,8$	$> 8 - 16$
D	$> 4,7 - 7,4$	$> 12,8 - 19,2$	$> 16 - 24$
E	$> 7,4$	$> 19,2$	$> 24$

Para comparar cada um dos critérios, foi realizado um processo de validação dos modelos, em que foram calculados os valores de  $FD_d$  e os níveis de serviços de metade das correntes de tráfego obtidas em campo. Os resultados da  $FD_d$  dos modelos foram comparados com a  $FD_d$  obtida diretamente do campo. Conforme demonstrado na Figura 6, o modelo de  $FD_d$  proposto neste trabalho apresentou maior proximidade com os resultados de campo do que o modelo do NCHRP Project 17-65.

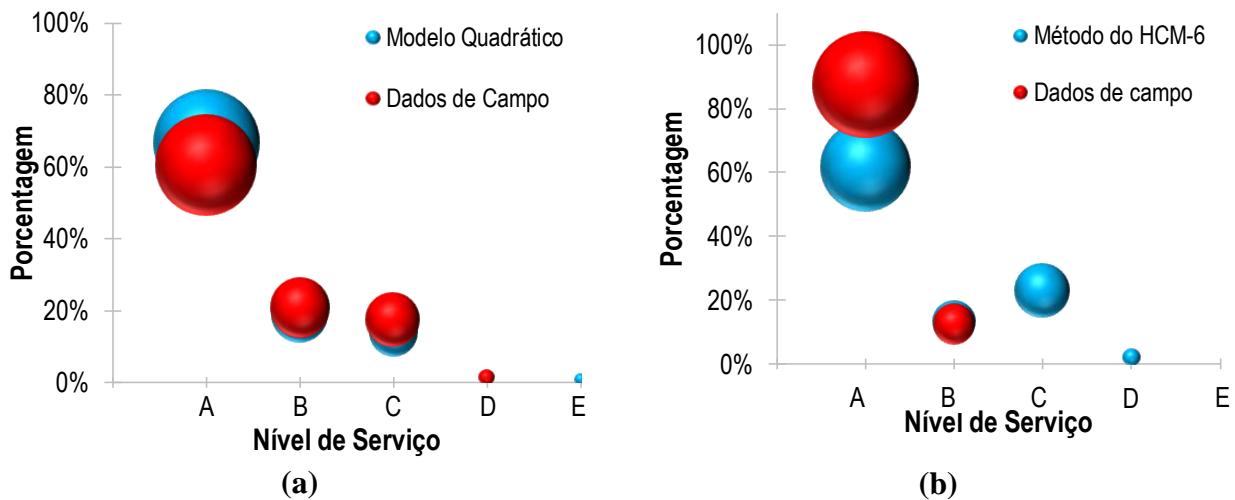
Figura 6: Medidas de desempenho obtidas em campo e obtidas com o modelo proposto (a) e com o NCHRP Project 17-65 (b)



Conforme apresentado no gráfico de bolhas da Figura 7, foram obtidos os níveis de serviços da amostra de validação do VISSIM considerando cada uma das classificações propostas na Tabela 4. Os modelos apresentaram níveis de serviço bastante próximos para a  $FD_d$  calculada pelos modelos com a  $FD_d$  de campo, especialmente para o nível de serviço B. Por outro lado, o critério do NCHRP Project 17-65 parece subestimar o nível de serviço de campo. Esse resultado demonstra que, se utilizar o HCM sem nenhum tipo de adaptação, o que é comum, os níveis de

serviço obtidos tendem a ser piores do que, de fato, são, pelo menos para os casos estudados neste trabalho.

Figura 7: Níveis de serviço obtidos em campo e obtidos com o modelo proposto (a) e com o NCHRP Project 17-65 (b)



## 5.6. Referências

- Bessa Jr., J. E e J. R. Setti (2018); Evaluating Measures of Effectiveness for Quality of Service Estimation on Two-Lane Rural Highways. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, v. 144, p. 04018056.
- Bessa Jr, J. E., J. R. Setti e S. S. Washburn (2017) Evaluation of Models to Estimate Percent Time Spent Following on Two-Lane Highways. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, v. 143, p. 04017010.
- Demarchi, S. H. (2000) *TruPer Simulador de Desempenho de Veículos Rodoviários e Ferroviários*. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá.
- Goldberg, D. E. (1989) *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.
- Hollander, Y. e R. Liu (2008) The Principles of Calibrating Traffic Microsimulation Models. *Transportation*, v. 35, n. 3, p. 347–362.
- Lacerda, V. M. (2016) *Estimação da velocidade média em vias urbanas com o uso do microssimulador VISSIM*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará.

PTV (2018) *VISSIM 10 User Manual*. Planning Transport Verkehr AG – PTV Vision, Karlsruhe, Germany.

Washburn, S. S., D. Watson, Z. Bian, T. Luttinen, A. Al-Kaisy, A. Jafari, R. Dowling e A. Elias (2018) *Improved analysis of Two-Lane Highway Capacity and Operational Performance*. Final Report for NCHRP Project 17-65 National Cooperative Highway Research Program, TRB, Washington, Web-Only Document 255.

## 6. QUADRO RESUMO - ATIVIDADES PREVISTAS X DESENVOLVIDAS

Na Figura 8, é possível verificar um quadro com as atividades previstas no plano de trabalho para o período no qual este relatório se refere.

Figura 8: Atividades previstas *versus* atividades desenvolvidas no período

Atividades previstas	Produtos esperados	Atividades executadas	Status das atividades executadas	Produtos gerados
Determinação de parâmetros de projeto	Veículo pesado de projeto, fator K típico e gatilho com base no VMDA	Determinação de parâmetros de projeto	Concluído	Veículo pesado de projeto (para 4 categorias)
Calibração e validação do simulador de tráfego	Versão calibrada e validada do simulador VISSIM	Calibração e validação do simulador de tráfego	Concluído	Versão calibrada e validada do simulador VISSIM
Relações fundamentais do tráfego	Obtenção de modelos de tráfego sem faixas adicionais e sem zonas de ultrapassagens proibidas, sob diferentes condições de tráfego e de geometria viária	Relações fundamentais do tráfego	Concluído	Obtenção de modelos de tráfego sem faixas adicionais e sem zonas de ultrapassagens proibidas, sob diferentes condições de tráfego e de geometria viária
Análise de faixas adicionais e zonas de ultrapassagens proibidas	Modelos de tráfego para segmentos viários com faixas adicionais ou com zonas de ultrapassagens proibidas	Análise de faixas adicionais e zonas de ultrapassagens proibidas	Concluído	Modelos de tráfego para segmentos viários com faixas adicionais ou com zonas de ultrapassagens proibidas
Critérios para determinação do nível de serviço	Critério para obtenção do nível de serviço com base na densidade de veículos em pelotões	Critérios para determinação do nível de serviço	Concluído	Critério para obtenção do nível de serviço com base na densidade de veículos em pelotões

## **7. ANEXOS DO RELATÓRIO RESUMO DE ATIVIDADES**

É apresentado, em arquivo a parte deste relatório, o cronograma físico-financeiro do projeto.

**ANEXO II – Artigos apresentados na ANPET 2018**

# AVALIAÇÃO DO EFEITO DE FAIXAS ADICIONAIS DE SUBIDA EM SEGMENTOS DE RODOVIAS DE PISTA SIMPLES

**Frederico Amaral e Silva**

**José Elievam Bessa Júnior**

Universidade Federal de Minas Gerais

Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes

**Anáiram Lima Costa**

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Graduação em Engenharia de Transportes

**André Luiz Cunha**

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

**Aline Ferreira Andalício**

**Diego Milli da Costa Velho**

**Veridianne Soares Nazareth**

Concessionária BR-040 S/A

## RESUMO

A versão 6 do *Highway Capacity Manual* (HCM), que está em constante revisão, deverá tratar da capacidade e do nível de serviço de rodovias de pista simples com base na Densidade de Veículos em Pelotões (*FD*). No Brasil, há poucos estudos que determinam o impacto de faixas adicionais em rodovias de pista simples, sobretudo envolvendo *FD*, que é o objetivo geral deste trabalho. Para isso, foi obtido um conjunto de dados de tráfego em segmentos de rodovia com o intuito principal de calibrar e validar o simulador de tráfego utilizado nesta pesquisa, o VISSIM. Com o simulador calibrado, foram gerados dados de tráfego em segmentos viários hipotéticos com e sem faixas adicionais, tendo sido ajustados modelos de tráfego. Os resultados da análise dos modelos indicaram que a proposta deste trabalho produziu valores de nível de serviço e de *FD* mais aderentes aos valores que foram observados em campo.

## ABSTRACT

The 6<sup>th</sup> version of the Highway Capacity Manual (HCM), which has been under constant revision, should address capacity and level of service of two-lane highways based on Follower Density (*FD*). In Brazil, there are few studies that have determined the impact of climbing lanes on two-lane highways, especially involving *FD*, which is the objective of this research. To achieve this goal, a set of traffic data was obtained from highway segments with the main purpose of calibrating and validating the traffic simulator used in this research, VISSIM. With the calibrated simulator, traffic data were generated for hypothetical highway segments with and without climbing lanes, and traffic models have been adjusted. The results of this analysis indicated that the models proposed in this work produced level of service and *FD* values more adherent to the values observed in the field.

## 1. INTRODUÇÃO

A liberdade e a segurança operacional em rodovias de pista simples podem ser prejudicadas caso existam rampas acentuadas e longas que provoquem uma brusca redução da velocidade da corrente de tráfego. Dessa forma, haverá a formação de pelotões e o aumento do atraso médio dos veículos se o fluxo de veículos for alto. As faixas adicionais de subida consistem em uma terceira faixa de tráfego, complementar, implantada nos segmentos com rampa de subida acentuadas para o uso, principalmente, de veículos pesados com baixo desempenho veicular. O objetivo é facilitar o tráfego dos veículos mais rápidos, ao permitir que sejam realizadas as ultrapassagens com segurança e rapidez, sem usar a faixa no sentido oposto, reduzindo o tempo de viagem e melhorando o nível de serviço no segmento (AASHTO, 2001).

Do ponto de vista operacional, o *Highway Capacity Manual* (HCM) é o documento mais usado no mundo para calcular a capacidade e o nível de serviço de componentes viários. Em 2016, foi publicada a 6<sup>a</sup> edição do manual (HCM-6). Contudo, ainda não foi disponibilizado o

novo capítulo referente às rodovias de pistas simples, embora tenha sido publicado um relatório (Washburn *et al.*, 2018) que indica como será esse novo método, desenvolvido no âmbito do *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP). A Densidade de Veículos em Pelotões (*Follower Density - FD*) deve ser a nova medida de serviço utilizada pelo HCM, voltada para análise de rodovias de pista simples. A *FD* é de fácil obtenção em campo e representa bem as condições da rodovia, sendo também capaz de representar a percepção do usuário e a compatibilidade com outros tipos de rodovias. Esse resultado é corroborado por outras pesquisas (Al-Kaisy *et al.*, 2018; Bessa Jr. e Setti, 2018; Moreno *et al.*, 2018).

Setti (2009) traz uma reflexão sobre a importância de desenvolver métodos e modelos que sejam voltados para a realidade brasileira, uma vez que o HCM vem sendo desenvolvido com dados de tráfego coletados em rodovias norte-americanas. A utilização do HCM sem que, ao menos, seja adaptado para as condições brasileiras tem culminado na subestimação dos níveis de serviço calculados (Utimura *et al.*, 2007; Pereira e Bessa Jr., 2017). No que diz respeito às faixas adicionais de subida em rodovias de pista simples, o método do HCM-6 (ainda sem atualização) leva em consideração o impacto das faixas adicionais. No entanto, não têm sido desenvolvidos trabalhos, no Brasil e no exterior, que buscam avaliar o impacto das faixas adicionais com mais profundidade, especialmente levando em conta a *FD* como medida de desempenho. Este trabalho teve, portanto, essa meta.

## 2. NCHRP PROJECT 17-65

A proposta do novo método do HCM (Washburn *et al.*, 2018), apresentada no relatório final do NCHRP Project 17-65, inclui a categorização em apenas duas classes de rodovias de pista simples, e não mais em três, o que é de entendimento mais objetivo, pois usa o critério de velocidade máxima regulamentar na rodovia. A primeira classe é chamada de rodovias de velocidade elevada (*High-Speed Highways*), com velocidade regulamentar maior ou igual a 80 km/h. A segunda classe é chamada de rodovias de baixa velocidade (*Low-Speed Highways*), cuja velocidade regulamentar é inferior a 80 km/h. Nas rodovias da primeira classe, a velocidade de tráfego e os atrasos são fatores importantes para os motoristas. As rodovias de baixa velocidade, geralmente, servem de ligações entre rodovias de velocidades mais altas e, também, ocorrem em regiões turísticas, apresentando poucas oportunidades de ultrapassagens, fazendo com que os motoristas aceitem velocidades menores.

Foram propostas cinco classes para o alinhamento vertical, em função do comprimento e da rampa do segmento viário. A classe 1 corresponde a um impacto baixo nas condições de tráfego, que vai aumentando até a classe 5, que apresenta um grande impacto na trajetória dos veículos. Da mesma forma, o alinhamento horizontal é categorizado em cinco classes, dados em função do raio e da superelevação das curvas. Portanto, as estimativas das medidas de desempenho para cálculo do nível de serviço são realizadas combinando-se segmentos com curva horizontal e em tangente.

A *FD* (dada em veic/km) reflete a proximidade dos veículos, as oportunidades de realização de manobras de ultrapassagens e o desconforto dos motoristas ao trafegarem em pelotões, e é calculada, para um sentido de tráfego, pela seguinte equação:

$$FD = \frac{PF}{100} \cdot \frac{v_d}{ATS}, \quad (1)$$

em que *PF* é a porcentagem de veículos em pelotões; *v<sub>d</sub>* é o fluxo de tráfego (cpe/h); e *ATS* é a velocidade média de viagem (km/h). O cálculo da *FD* para obter o nível de serviço é realizado

em várias etapas que incluem a realização de ajustes para condições que não sejam básicas.

A *ATS*, na direção de análise, quando o fluxo de tráfego for inferior a 100 veic/h, pode ser considerada igual à velocidade de fluxo livre (*FFS*). Para os segmentos em que o fluxo for maior ou igual a 100 veic/h, deverá ser calculada conforme a equação:

$$ATS = FFS - m \left( \frac{v_d}{1000} - 0,1 \right)^p, \quad (2)$$

em que  $m$  e  $p$  são coeficientes que dependem da classe do alinhamento vertical, da *FFS*, da porcentagem de veículos pesados ( $P_{hv}$ ), do fluxo oposto ( $v_o$ ) e do comprimento da faixa adicional ( $L$ ), se houver.

A velocidade de fluxo livre (*FFS*) pode ser determinada diretamente do campo ou calculada pela fórmula:

$$FFS = BFFS - a \cdot P_{hv}, \quad (3)$$

em que *BFFS* é a velocidade de fluxo livre base (km/h), calculada pelo produto da velocidade máxima regulamentada da via por 1,14 (para tangentes); e  $a$  é um parâmetro que depende de *BFFS*,  $P_{hv}$ ,  $L$ ,  $v_o$  e da classe do alinhamento vertical. Um ajuste adicional da *BFFS* deve ser realizado para subsegmentos com curva horizontal.

A *PF*, último parâmetro necessário para cálculo da *FD* (Equação 1), pode ser calculada pela equação:

$$PF = 100 \cdot \left[ 1 - e^{\left( m \cdot \left( \frac{v_d}{1000} \right)^p \right)} \right], \quad (4)$$

em que  $m$  e  $p$  são coeficientes específicos para o cálculo da *PF*.

### 3. COLETA DE DADOS DE TRÁFEGO

Para atingir a meta traçada neste trabalho, foram desenvolvidos experimentos de simulação de tráfego com o software VISSIM (PTV, 2018), calibrado e validado a partir de dados de tráfego obtidos em rodovias mineiras. A principal base de dados usada neste trabalho consistiu em posicionar câmeras de vídeo nas extremidades e em pontos intermediários de trechos selecionados da rodovia BR-040, em Minas Gerais e Goiás, para obter informações como velocidade média de viagem, composição veicular e *headways* dos veículos.

As coletas de dados foram planejadas levando em consideração a obtenção de correntes de tráfego de modo que se tivesse, tanto quanto possível, um conjunto diverso, seja do ponto de vista da magnitude do fluxo de tráfego, seja considerando a geometria dos trechos. Os dados foram obtidos durante o feriado da Semana Santa de 2018, nos segmentos entre os km's 19 e 29; 29 e 39; 95 e 105; 130 e 140; e 140 e 150, nos dias 29 e 30 de março de 2018 e 1 de abril de 2018, todos com velocidades regulamentares acima de 80 km/h. Outra coleta de dados foi realizada no mesmo ano, mas no feriado da Independência, nos trechos entre os km's 288 e 298; e 359 e 399, nos dias 7 e 9 de setembro de 2018. A amostra obtida possui 177 correntes de tráfego de 15 minutos; dessas, 54 foram coletadas em segmentos com faixas adicionais.

Alguns voos foram realizados com um quadricóptero portátil (drone) Mavic Pro (DJI, 2017) para registrar as ultrapassagens em campo, com o intuito de obter parâmetros de calibração do

VISSIM. De acordo com a legislação brasileira (ANAC, 2017), não podem ser realizados voos com mais de 120 m de altura, o que delimita as observações de trechos de ultrapassagens com comprimento suficiente para observação das manobras. Para corrigir as distorções das distâncias com o drone posicionado em direção ao horizonte, foi utilizado um programa (Cunha, 2013) para transformar a perspectiva das imagens das rodovias de modo que possuíssem um formato retangular, como se o Drone estivesse posicionado de forma perpendicular à rodovia.

Uma vez que não há um modelo específico no VISSIM para curvas horizontais, foi realizada uma coleta de dados, em março de 2019, para obter informações acerca dos comportamentos dos condutores nas curvas horizontais para modelagem no simulador. A coleta foi realizada entre os km's 395 e 404 da BR-040, próximos ao município de Curvelo. Consistiu em acompanhar o trajeto dos veículos leves e pesados no segmento e obter, com um GPS, informações sobre o posicionamento dos veículos. Foram registrados os percursos de 20 automóveis e 10 caminhões, entre leves, médios, pesados e extrapesados, em curvas de raios entre 414 m e 905 m, mediana de 559 m e desvio padrão de 252 m. Foi identificado que a rampa, o raio e o desenvolvimento da curva não apresentaram correlação com a velocidade em curva. Dessa forma, optou-se por uma simplificação, analisando-se a redução de velocidade nas curvas horizontais apenas em função da velocidade em tangente. Assim, foi realizada uma regressão linear ( $R^2 = 0,98$ ) para obtenção do seguinte modelo:

$$v_{\text{curva}} = 0,95 \cdot v_{\text{tangente}}, \quad (5)$$

em que  $v_{\text{curva}}$  é a velocidade média dos veículos na curva horizontal; e  $v_{\text{tangente}}$  é a velocidade média dos veículos em tangente.

#### **4. CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO VISSIM**

O VISSIM é um dos principais simuladores microscópicos de tráfego usados no mundo e pode ser usado para criar diferentes cenários de tráfego com uma abordagem dinâmica e estocástica (PTV, 2018). Possui submodelos comportamentais, como os de *car-following*, de mudanças de faixa, de aceitação de brechas e de desempenho veicular. Como cada grupo de parâmetros comportamentais de motoristas inclui inúmeras possibilidades de calibração, Hollander e Liu (2008) propõem organizá-los em grupos a fim de determinar quais são efetivamente relevantes para calibração. Esses grupos são: (i) parâmetros facilmente obtidos em campo; (ii) parâmetros disponíveis em estudos anteriores e que podem ser replicados para a situação de análise; (iii) parâmetros que não influenciam os dados de saída e, portanto, não precisam ser selecionados para calibração; (iv) parâmetros que não são necessários na modelagem; e (v) todos os demais parâmetros, que devem ser calibrados por algum método. Sendo assim, não foram considerados para calibração os parâmetros que são voltados para a modelagem de correntes de tráfego de fluxo interrompido (como semáforos) e para simulações mesoscópicas.

##### **4.1. Parâmetros obtidos em campo**

Dentre os parâmetros que podem ser obtidos diretamente do campo, há aqueles voltados para o modelo de desempenho de veículos pesados e para a distribuição de velocidades desejadas. O modelo de desempenho dos veículos pesados foi calibrado em Lima *et al.* (2018). As distribuições de velocidades desejadas foram obtidas dos dados pontuais, resultado dos registros da velocidade nos momentos de passagem nas entradas e saídas das seções dos segmentos viários filmados. Com esses dados, foi possível observar os veículos que estiveram em pelotões, com *headways* iguais ou menores que 2,5 segundos (Washburn *et al.*, 2018). Os veículos que foram observados com *headways* maiores que 2,5 segundos são considerados veículos livres,

que, teoricamente, trafegam na velocidade desejada, definição que está em conformidade com o VISSIM.

Ainda assim, restaram 38 parâmetros – relacionados com os submodelos comportamentais – para análise de relevância para calibração. Foi realizado um teste de sensibilidade de modo a verificar quais desses parâmetros comportamentais são mais relevantes (Lacerda, 2016). Consiste em alterar os parâmetros dos modelos do VISSIM a fim de verificar o impacto nos resultados da simulação. Para isso, foram escolhidos, como medidas de desempenho, a *ATS* e a *PF*, por sentido de tráfego. Então, foram calculados Intervalos de Confiança (IC's) das diferenças dos resultados quando cada parâmetro é alterado, em relação aos resultados usando-se os parâmetros *default*. Caso os IC's contenham o zero ou sejam pequenos, a influência do parâmetro na medida de desempenho é considerada pequena.

Para a realização da análise de sensibilidade, foram simulados os segmentos entre os km's 95 e 105, e entre os km's 288 e 298, escolhidos por apresentarem uma maior amplitude de fluxo de tráfego. No VISSIM, para esses trechos modelados, todos os 38 parâmetros comportamentais foram alterados isoladamente, por duas vezes: usando-se os valores mínimo e máximo do intervalo de busca estabelecido para cada parâmetro. Foram obtidos os resultados de simulação que foram comparados com os resultados obtidos com os parâmetros *default*, calculando-se a média, o desvio padrão e o intervalo de confiança das diferenças absolutas dos resultados das simulações. Seis parâmetros foram identificados como relevantes para calibração: (i) *Look Ahead Maximum Distance* (*LookAheadDistMax*); (ii) *Observed Vehicles* (*ObsrvdVehs*); (iii) *Safety distance reduction fator - lane change* (*SafDistFactLnCg*); (iv) *W99cc1Distr*; (v) *W99cc3*; e (vi) *Lateral Minimum Distance at 50 km/h* (*LatDistDrivDef*).

Dois desses parâmetros, o *LatDistDrivDef* e o *SafDistFactLnChg*, puderam ser obtidos através das filmagens com o drone. De acordo com o Manual do VISSIM (PTV, 2018), o *LatDistDrivDef* é a distância mínima, em relação à faixa adjacente, mantida pelos veículos que ultrapassam pela faixa do sentido oposto, a 50 km/h. Para calibrar esse parâmetro, foi observado, com o uso do Drone, o comportamento dos veículos quando realizavam as ultrapassagens, capturando-se a distância lateral e a velocidade em que os veículos realizavam as manobras. Foram coletadas informações de 31 manobras de ultrapassagens. A distribuição das distâncias laterais obtidas foi melhor representada pela mediana, devido a assimetria da amostra. Assim, o valor estimado para *LatDistDrivDef* foi de 1,12 m, valor que é menos agressivo que o valor *default* do VISSIM, de 1,00 m.

Apesar de relevante, o *LatDistDrivDef* se mostrou menos impactante na simulação do que o *SafDistFactLnChg*, que é um fator de redução da distância de segurança desejada para a realização das mudanças de faixa, produto da distância de segurança desejada pelo fator de redução da distância de segurança. Esse fator pode ser definido como a razão da distância final de aproximação do veículo que realizar a ultrapassagem pela distância mantida pelos veículos em *following*, mas que não desejam realizar ultrapassagens. De posse das 31 ultrapassagens registradas com o drone, foram coletadas as distâncias que os veículos mantiveram quando atrás de outros veículos e foram observadas as distâncias dos veículos que iniciam as ultrapassagens no limite do início da manobra. O valor *default* do VISSIM para o parâmetro é de 0,6 m, enquanto, para a amostra das ultrapassagens observadas, o parâmetro obtido foi igual a 0,36 m (mais agressivo).

## 4.2. Calibração dos parâmetros com Algoritmo Genético

Os demais quatro parâmetros relevantes para calibração foram estimados com o uso de um Algoritmo Genético (AG), que é baseado em outro aplicado em estudos anteriores (Bessa Jr. *et al.*, 2017; Bessa Jr. e Setti, 2018). Alguns trabalhos (Lacerda e Castro-Neto, 2014; Lacerda, 2016) têm apontado que, se um processo de calibração não for bem delineado, parâmetros comportamentais dos simuladores de tráfego podem ter valores de calibração inadequados (agressivos demais, por exemplo). Sendo assim, outros parâmetros calibrados também podem ser inadequados, mas em outro sentido (muito conservadores, por exemplo), na tentativa de compensar os erros atribuídos aos primeiros parâmetros. A aplicação tradicional dos AG's para calibrar simuladores de tráfego na obtenção dos parâmetros comportamentais é susceptível a esse tipo de erro.

Para evitar esse problema, a criação da população (de 10 indivíduos) do AG foi baseada no intervalo de busca dos parâmetros de calibração que os compõe, com cada um deles associado a um determinado nível de agressividade: baixo, médio e alto (intervalos de busca divididos em três partes). Cada cromossomo representa um conjunto de parâmetros de calibração que são inseridos nos arquivos de entrada de metade das correntes de tráfego de 15 minutos obtidas por filmagens. A outra metade foi usada para realizar a validação do AG e, também, para validar os modelos de tráfego obtidos. O grau de adaptação (qualidade) de cada indivíduo da população é determinado por meio de uma função objetivo (*fitness*), o somatório dos erros quadráticos (*SE*), que tem, como principal vantagem, penalizar àquelas soluções que produzem grandes erros absolutos. A formulação de *SE* é dada por:

$$SE = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^2 \sum_{w=1}^2 (y_{ikw} - x_{ikw})^2, \quad (6)$$

em que  $y_{ikw}$  é a velocidade média de viagem obtida na simulação, para a corrente de tráfego  $i$ , sentido de tráfego  $k$  (leste ou oeste) e tipo de veículo  $w$  (automóvel ou veículo pesado);  $x_{ikw}$  é a velocidade média de viagem obtida em campo, para a corrente de tráfego  $i$ , sentido de tráfego  $k$  e tipo de veículo  $w$ ; a variável  $n$  representa a metade das correntes de tráfego de 15 minutos da amostra.

Se a máxima geração (30) não tiver sido atingida, os operadores genéticos são acionados para produzir uma nova geração da população. O tipo de seleção de dois indivíduos (pais) para realização de cruzamento (*crossover*) é baseado na técnica da roleta (Goldberg, 1989), em que a probabilidade de serem selecionados é função do seu grau de adaptação ao meio (*fitness*). Portanto, quanto menor for o *SE* do indivíduo, mais chance ele tem de ser selecionado para realização de cruzamento. O novo cromossomo de um indivíduo da geração seguinte possui genes (parâmetros de calibração) que são resultados da média aritmética dos genes dos seus pais. Os outros operadores genéticos, mutação e predição, que ajudam a inserir diversidade na população, possuem, respectivamente, taxas de 30% e 20%, e são aplicadas a cada duas gerações. Com a aplicação do *crossover*, é possível que alguns genes dos indivíduos de uma nova geração da população tenham agressividades diferentes daquelas definidas no início do processo de calibração (baixo, médio ou alto). Nesses casos, cada gene deve ser substituído por um outro produzido aleatoriamente com base no seu respectivo espaço de busca, de acordo com seu nível de agressividade. A esse processo foi denominado “alteração genética”.

Usando-se os valores *default* dos quatro últimos parâmetros relevantes para calibração, foi encontrado um valor de *SE* igual a 10.603. Com a aplicação da melhor solução encontrada

com o AG (um motorista com alta agressividade), obteve-se um valor de  $SE$  de 9.528, que é 10% menor do que quando usados os valores *default* dos parâmetros. Foi realizado um processo de validação ao testar a melhor solução encontrada na etapa de calibração. Nesse caso, o valor de  $SE$  encontrado foi de 15.001, que é 4% menor do que o obtido com os parâmetros *default*, igual a 15.635.

A aplicação do AG apresentou uma leve melhora em relação à utilização dos parâmetros *default*. Isso pode ser justificado em função da quantidade pequena de parâmetros a serem calibrados. Além disso, o processo de ajuste dos parâmetros inicia-se, de fato, com a calibração das curvas de velocidades desejadas, dos modelos de desempenho dos veículos pesados e dos dois parâmetros em campo estimados a partir de filmagens com Drone – *LatDistDrivDef* e *SafDistFactLnChg*. Com relação aos resultados dos parâmetros calibrados pelo AG, todos os valores foram considerados mais agressivos dos que os valores *default* do VISSIM: *LookAheadDistMax* = 419 veículos; *ObsrvdVehs* = 7 veículos; e *W99cc3* = -2,6 s. A exceção ficou por conta do *W99cc1Distr*, que permaneceu com o mesmo valor *default* do VISSIM (tipo 1). Mais detalhes sobre a calibração e a validação do VISSIM podem ser vistos em Silva (2019).

## 5. MODELOS DE TRÁFEGO

A classificação do alinhamento vertical proposta no NCHRP Project 17-65 (Washburn *et al.*, 2018) é baseada na redução da velocidade de entrada de um veículo pesado típico num trecho com uma rampa. Neste trabalho, foram realizados experimentos de simulação, no VISSIM, de forma a se identificar esses impactos das rampas num veículo pesado típico de projeto com relação massa/potência de 175 kg/kW, que representa o 85º percentil da distribuição de veículos pesados da amostra obtida nesta pesquisa numa balança móvel da BR-040 (Lima *et al.*, 2018). A velocidade de entrada no trecho com rampa foi de 105 km/h, a mesma escolhida nos experimentos para o novo método do HCM. A Tabela 1 ilustra a classificação do alinhamento vertical – ou Classe da Rampa (COG) – obtida para este trabalho, que é significativamente diferente da tabela obtida no NCHRP Project 17-65, com implicações importantes na obtenção dos modelos de tráfego.

**Tabela 1:** Classificação do alinhamento vertical

Comprimento do segmento (m)	Rampa (%)																	
	Classe da rampa (COG)																	
	1	-1	2	-2	3	-3	4	-4	5	-5	6	-6	7	-7	8	-8	9	-9
≤ 200	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
≥ 200 < 400	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	3	2	3	3	4	3	4	4
≥ 400 < 600	1	1	2	2	2	2	3	3	4	4	4	5	5	5	4	5	5	
≥ 600 < 800	1	1	2	2	3	2	4	4	5	4	5	5	5	5	4	5	5	
≥ 800 < 1000	2	2	3	3	4	3	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	
≥ 1000 < 1200	2	2	3	3	4	3	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	
≥ 1200 < 1400	2	2	3	3	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	
≥ 1400 < 2400	3	3	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
≥ 2400	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	

Com as classificações do alinhamento vertical, foram desenvolvidos modelos que correlacionavam fluxo unidirecional ( $q_d$ ) e  $FD$ , em função de COG,  $P_{hv}$  e FFS. Foram criados, no VISSIM, 10 segmentos viários hipotéticos de 10 km para cada COG, alternando-se segmentos de subida e de descida, com a inclinação e o comprimento definidos randomicamente em função da Tabela 1. Os trechos hipotéticos foram usados para gerar modelos: (i) sem faixas adicionais e sem proibição de ultrapassagens (aqui denominados de “modelos-base”); e (ii) com a

inserção de faixas adicionais. A  $FD$  de um segmento foi calculada em função da média ponderada dos  $FDS$  dos subsegmentos, com o peso sendo o comprimento do trecho.

A  $FFS$  foi simulada de 70 a 110 km/h, variando-se de 10 em 10 km/h. Para as porcentagens de veículos pesados ( $P_{hv}$ ), foram considerados de 0% a 50% da corrente de tráfego, variando-se de 10% em 10%. Considerando as cinco categorias de alinhamento vertical, foram realizadas, portanto,  $5 \times 6 \times 5 = 150$  relações fluxo- $FD$  unidireccionais. Para produzir cada um desses modelos, foram simuladas 100 correntes de tráfego, o que resultou em  $100 \times 150 = 15.000$  simulações no total. Foi utilizado um modelo quadrático entre  $q_d$  e  $FD_d$ :

$$FD_d = a \cdot q_d^2, \quad (7)$$

em que  $a$  é um parâmetro de calibração. Na Tabela 2, é possível verificar os parâmetros  $a$  encontrados para  $P_{hv} = 20\%$ . Os valores intermediários de  $a$  para valores de COG,  $P_{hv}$  e  $FFS$  diferentes dos apresentados na Tabela 2 devem ser obtidos por meio de interpolação linear. Valores para outras combinações de COG,  $P_{hv}$  e  $FFS$  podem ser vistos em Silva (2019).

**Tabela 2:** Parâmetros dos modelos-base de  $FD_d$  quadrático, para  $P_{hv} = 20\%$

FFS (km/h)	$P_{hv} = 20\%$									
	COG = 1		COG = 2		COG = 3		COG = 4		COG = 5	
	a	$R^2$	a	$R^2$	a	$R^2$	a	$R^2$	a	$R^2$
70	0,0000083	0,9392	0,0000070	0,9549	0,0000078	0,9522	0,0000112	0,9738	0,0000115	0,9770
80	0,0000080	0,9384	0,0000067	0,9615	0,0000074	0,9597	0,0000110	0,9742	0,0000113	0,9753
90	0,0000080	0,9416	0,0000067	0,9605	0,0000074	0,9606	0,0000109	0,9741	0,0000111	0,9769
100	0,0000078	0,9474	0,0000065	0,9680	0,0000071	0,9662	0,0000103	0,9770	0,0000107	0,9776
110	0,0000077	0,9461	0,0000064	0,9647	0,0000071	0,9653	0,0000100	0,9757	0,0000103	0,9781

Não foi identificada a necessidade de implantação de faixa adicional de subida em nenhum trecho com  $COG = 1$ , pois o desempenho dos caminhões é menos afetado pelas rampas, que, por consequência, são mais suaves ou curtas que a das outras classes de alinhamento vertical. Com os resultados das simulações para trechos com faixas adicionais, foram realizadas regressões considerando-se o modelo da Equação 7, com a obtenção de outros parâmetros  $a$ . Foram calculados fatores de ajuste para as faixas adicionais de subida,  $f_{fa}$ , que consistem na diferença entre a  $FD_d$  do modelo-base pela  $FD_{fas}$  ( $FD$  com faixas adicionais):

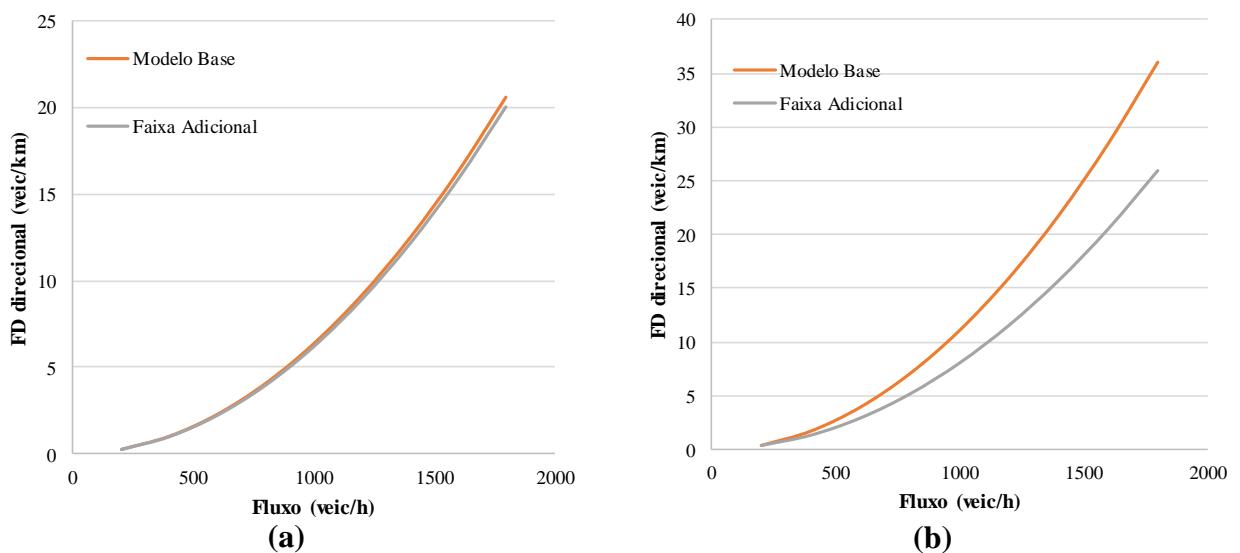
$$f_{fa} = FD_d - FD_{fas}. \quad (8)$$

Na Tabela 3, é possível verificar os valores de  $f_{fa}$  para  $COG = 4$  e  $FFS = 90$  km/h. Os valores intermediários de  $f_{fa}$  para valores de  $P_{hv}$  e  $FFS$  diferentes dos apresentados na Tabela 3 devem ser obtidos por meio de interpolação linear. Valores para outras combinações de COG,  $P_{hv}$  e  $FFS$  podem ser vistos em Silva (2019).

A Figura 1 apresenta exemplos do modelo-base e do modelo com faixas adicionais para  $COG = 2$  e  $COG = 5$ , com  $FFS = 110$  km/h e  $P_{hv} = 20\%$ . O impacto das faixas adicionais foi mais evidente de acordo com as combinações dos parâmetros do modelo  $FFS$ ,  $P_{hv}$  e  $q_d$ , mas, principalmente, em função do COG, pois o relevo impacta mais os veículos, especialmente os pesados. Para o  $COG = 2$ , a faixa adicional apresentou pouca influência no resultado da  $FD_d$ , com a maior redução na  $FD_d$  obtida com  $P_{hv} = 20\%$  para todas as  $FFS$ . Com  $COG = 5$ , os maiores  $f_{fa}$  foram percebidos com  $P_{hv} = 20\%$  para todos as  $FFS$ , com exceção da  $FFS = 110$  km/h, em que o maior efeito foi observado com  $P_{hv} = 30\%$ . Para todas as  $FFS$ , os menores impactos foram registrados com  $P_{hv} = 50\%$ .

**Tabela 3:** Fatores de ajuste para faixas adicionais de subida, com COG = 4 e FFS = 90 km/h

$q_d$ (veic/h)	$P_{hv}$ (%)					
	0	10	20	30	40	50
	FFS = 90 km/h					
200	0,0605	0,0963	0,1105	0,0972	0,0967	0,0945
400	0,2419	0,3851	0,4421	0,3886	0,3870	0,3781
600	0,5442	0,8664	0,9947	0,8744	0,8707	0,8506
800	0,9675	1,5403	1,7684	1,5544	1,5480	1,5122
1000	1,5117	2,4068	2,7631	2,4288	2,4187	2,3629
1200	2,1769	3,4657	3,9789	3,4974	3,4830	3,4025
1400	2,9630	4,7172	5,4157	4,7604	4,7407	4,6312
1600	3,8700	6,1613	7,0736	6,2177	6,1919	6,0489
1800	4,8980	7,7979	8,9525	7,8693	7,8367	7,6557



**Figura 1:** Exemplos de modelo-base e modelo com faixas adicionais para COG = 2, FFS = 110 km/h e  $P_{hv} = 20\%$  (a); e COG = 5, FFS = 110 km/h e  $P_{hv} = 20\%$

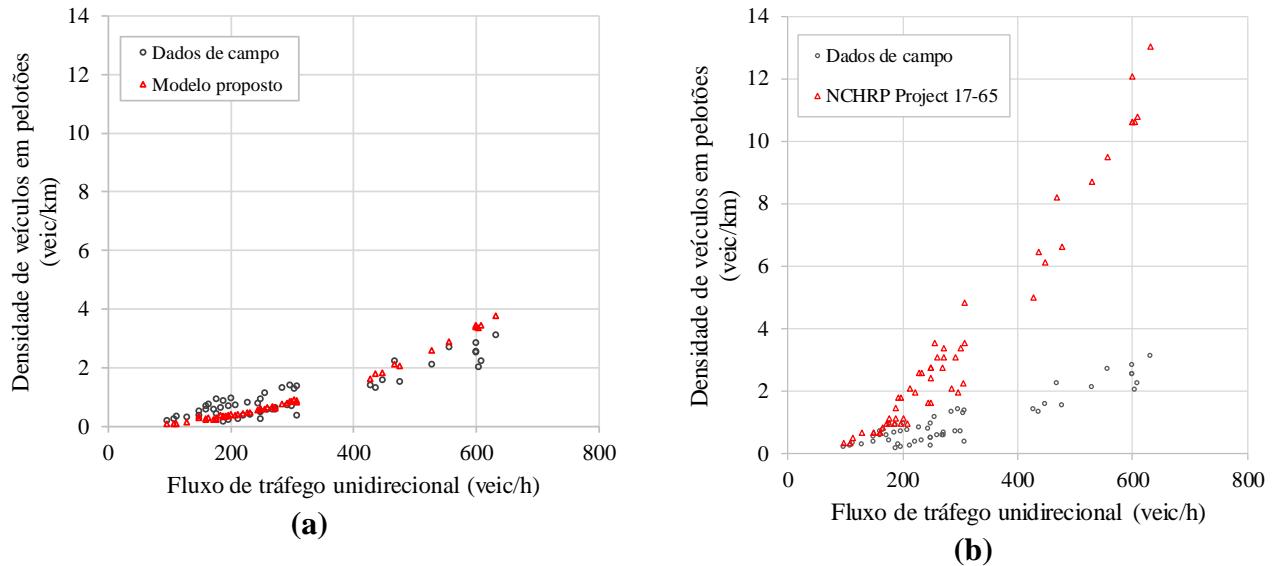
Foi estabelecido um critério de determinação do Nível de Serviço de rodovias de pistas simples a partir de  $FD_d$ , da forma como proposto por Washburn *et al.* (2018) para o HCM-6. O método consiste em determinar os volumes de serviço – ou seja, aqueles volumes que determinam a mudança do nível de serviço – partindo-se do modelo-base e em condições bem favoráveis (COG = 1 e  $P_{hv} = 0\%$ ) para o método do NCHRP Project 17-65. Com esses volumes de serviço, determina-se os valores de  $FD_d$  correspondentes ao modelo-base, com COG = 1 e  $P_{hv} = 0\%$ , para a proposta deste trabalho. Os valores de  $FD_d$  encontrados determinam os intervalos dos diferentes níveis de serviço. Na Tabela 4, é possível encontrar os critérios obtidos para o modelo proposto nesta pesquisa, além do critério do NCHRP Project 17-65.

**Tabela 4:** Critérios de obtenção de nível de serviço em função de  $FD$

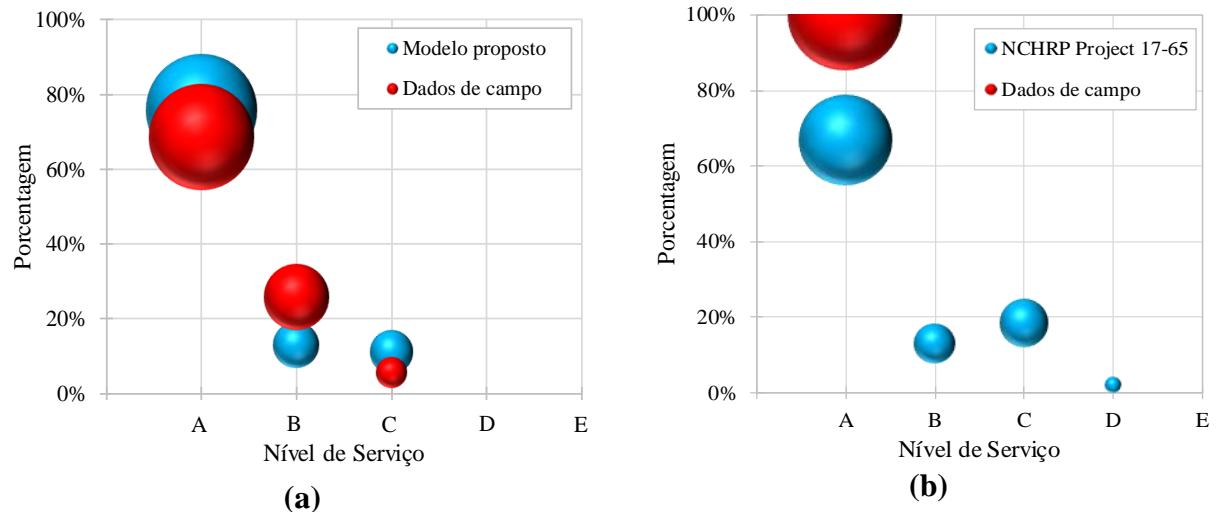
Nível de Serviço	$FD_d$ Quadrático	NCHRP Project 17-65	
		Rodovias com $v \geq 80$ km/h	Rodovias com $v \leq 80$ km/h
A	$\leq 1,2$	$\leq 3,2$	$\leq 4$
B	$> 1,2 - 2,7$	$> 3,2 - 6,4$	$> 4 - 8$
C	$> 2,7 - 4,7$	$> 6,4 - 12,8$	$> 8 - 16$
D	$> 4,7 - 7,4$	$> 12,8 - 19,2$	$> 16 - 24$
E	$> 7,4$	$> 19,2$	$> 24$

Para comparar cada um dos critérios, foi realizado um processo de validação dos modelos, em que foram calculados os valores de  $FD_d$  e os níveis de serviços de metade das correntes de tráfego obtidas em campo. Os resultados da  $FD_d$  dos modelos foram comparados com a  $FD_d$  obtida diretamente do campo. Conforme demonstrado na Figura 2, o modelo de  $FD_d$  proposto neste trabalho apresentou maior proximidade com os resultados de campo do que o modelo do NCHRP Project 17-65.

Foram obtidos os níveis de serviços da amostra de validação considerando cada uma das classificações propostas na Tabela 4, conforme apresenta a Figura 3. Os modelos apresentaram níveis de serviço bastante próximos para a  $FD_d$  calculada pelos modelos com a  $FD_d$  de campo, especialmente para o nível de serviço B. Por outro lado, o critério do NCHRP Project 17-65 parece subestimar o nível de serviço de campo. Esse resultado demonstra que, se utilizar o HCM sem nenhum tipo de adaptação, o que é comum, os níveis de serviço obtidos tendem a ser piores do que, de fato, são, pelo menos para os casos estudados neste trabalho.



**Figura 2:** Medidas de desempenho obtidas em campo e obtidas com o modelo proposto (a) e com o NCHRP Project 17-65 (b)



**Figura 3:** Níveis de serviço obtidos em campo e obtidos com o modelo proposto (a) e com o NCHRP Project 17-65 (b)

## **6. CONCLUSÕES**

Este trabalho teve, como objetivo principal, determinar o impacto das faixas adicionais de subida na operação de rodovias de pista simples. O simulador VISSIM, devidamente calibrado e validado, foi utilizado para produzir modelos de tráfego com e sem faixas adicionais. A geometria viária foi tratada por meio de cinco classes do alinhamento vertical, denominado de COG. Foram gerados segmentos viários hipotéticos e gerados dados de tráfego por simulação, utilizados para obter modelos de tráfego. Os resultados dessa análise indicaram que o modelo proposto entre fluxo unidirecional e  $FD$  produziram valores de nível de serviço e de  $FD$  mais aderentes ao que foram observados em campo.

A utilização do novo método do HCM – sem nenhuma adaptação – tende a subestimar o nível de serviço em rodovias brasileiras, o que provocaria investimentos antes do momento adequado. De modo geral, pode-se perceber que, com valores de  $P_{hv}$  elevados, a densidade de veículos em pelotões é menos influenciada pela faixa adicional. Para diferentes valores de  $P_{hv}$  e valores de COG muito baixos, a faixa adicional não produz grandes efeitos na redução de  $FD_d$ . Para COG's iguais a 4 e 5, fica evidente o benefício das faixas adicionais na redução da densidade de veículos em pelotões.

Para trabalhos futuros, é recomendável obter um conjunto de dados de tráfego específico para o comportamento dos condutores em curvas horizontais e, então, verificar precisamente o impacto na densidade de veículos em pelotões, haja vista que, neste trabalho, foi obtido um conjunto pequeno de informações nessas condições. É recomendável, ainda, ampliar as informações sobre os veículos pesados, em especial o comportamento desses veículos em curvas horizontais e, também, a respeito da velocidade desejada por categoria de veículo pesado, pois o VISSIM permite que seja atribuída essa informação para cada tipo de veículo. Um estudo também poderia ser conduzido para segmentos com faixas de ultrapassagens sem aclives.

Para que se possam estabelecer critérios de definição de níveis de serviço com base em  $FD_d$ , não foi considerada a percepção dos usuários. O motivo é a complexidade e os custos elevados para se conduzir uma pesquisa abrangente o suficiente para capturar e modelar as impressões dos usuários. Assim, recomenda-se que esse tipo de pesquisa possa ser conduzido futuramente.

Considerando-se a quantidade de fatores de ajustes e a complexidade para obtenção da densidade de veículos em pelotões propostos pelo NCHRP Project 17-65, um outro estudo seria adaptar o novo método para condições de rodovias brasileiras, mantendo-se a estrutura do manual.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à FAPEMIG, pelo apoio financeiro sob número de processo APQ-03818-18, e ao CNPq, pelo apoio financeiro sob os números de processo 312651/2018-0 e 439250/2018-8. Agradecem, ainda, à Concessionária Via040, à Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e à CAPES pelo apoio à pesquisa.

### **REFERÊNCIAS**

- AASHTO (2001) *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, 2001.
- Al-Kaisy, A., A. Jafari e S. S. Washburn (2017) Measuring Performance on Two-Lane Highways – Empirical Investigation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 2615, n. 1, p. 62-72.
- ANAC (2017) *Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial – RBAC –E nº 94*. Agência Nacional de

- Aviação Civil.
- Bessa Jr., J. E e J. R. Setti (2018); Evaluating Measures of Effectiveness for Quality of Service Estimation on Two-Lane Rural Highways. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, v. 144, p. 04018056.
- Bessa Jr, J. E., J. R. Setti e S. S. Washburn (2017) Evaluation of Models to Estimate Percent Time Spent Following on Two-Lane Highways. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, v. 143, p. 04017010.
- Cunha, A. L. B. N. (2013) *Sistema automático para obtenção de parâmetros do tráfego veicular a partir de imagens de vídeo usando OpenCV*. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- DJI (2017) *Mavic Pro: User Manual*, Shenzhen, Guangdong, China.
- Goldberg, D. E. (1989) *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.
- Hollander, Y. e R. Liu (2008) The Principles of Calibrating Traffic Microsimulation Models. *Transportation*, v. 35, n. 3, p. 347–362.
- Lacerda, V. M. (2016) *Estimação da velocidade média em vias urbanas com o uso do microssimulador VISSIM*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará.
- Lacerda, V. M. e M. M. Castro-Neto (2014) Considerações sobre a calibração do modelo de *car-following* do VISSIM para vias arteriais urbanas. *Anais do XXVIII Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes*. Curitiba, PR.
- Lima, C. M., L. V. Fleury, F. A. Silva, J. E. Bessa Jr., A. L. Costa, D. M. C. Velho e A. F. Andalício (2018) Caracterização da frota de caminhões da rodovia BR-040 para fins de simulação microscópica com o VISSIM. *Anais do XXXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*. Gramado, RS.
- Moreno, A. T., C. Llorca, S. S. Washburn, J. E. Bessa Jr. e A. García (2018) Operational Considerations of Passing Zones for Two-lane Highways: Spanish Case Study. *Promet-Traffic & Transportation*, v. 30, n. 5, p. 601-612.
- Pereira, H. M. e J. E. Bessa Jr. (2017) Análise comparativa de métodos para cálculo do nível de serviço em rodovias de pista simples. *Anais do XXXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*. Recife, PE.
- PTV (2018) *VISSIM 10 User Manual*. Planning Transport Verkehr AG – PTV Vision, Karlsruhe, Germany.
- Setti, J. R. (2009) *Highway Capacity Manual ou Manual de Capacidade Viária? Anais do 6º Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões – CBR&C 2009*, Florianópolis, SC.
- Silva, F. A. (2019) *Determinação do impacto de zonas de ultrapassagens proibidas e de faixas adicionais de subida em segmentos de rodovias de pista simples*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Utimura, F. S., J. R., Setti, C.Y. Egami e M. L. Mon-Ma (2007) Verificação da acurácia de estimativas do nível de serviço em rodovias de pista simples no estado de São Paulo. In: XXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2007, Rio de Janeiro. *Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2007*. Rio de Janeiro: ANPET.
- Washburn, S. S., D. Watson, Z. Bian, T. Luttinen, A. Al-Kaisy, A. Jafari, R. Dowling e A. Elias (2018) *Improved analysis of Two-Lane Highway Capacity and Operational Performance*. Final Report for NCHRP Project 17-65 National Cooperative Highway Research Program, TRB, Washington, Web-Only Document 255.

*Endereço para contato:*

MSc. Frederico Amaral e Silva (fred.amarals@gmail.com)

Prof. Dr. José Elievam Bessa Júnior (elievam@etg.ufmg.br ou elievamjr@gmail.com)

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Mestrado em Geotecnia e Transportes (GeoTrans)

Anáiram Lima Costa (anairamlcosta@gmail.com)

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Depto. de Eng. de Transportes (DET)

Prof. Dr. André Luiz Cunha (alcunha@usp.br)

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Depto. de Engenharia de Transportes

Aline Ferreira Andalício (alineferreiraandalicio@yahoo.com.br)

Diego Milli da Costa Velho (Diego.Milli@via040.invepar.com.br)

Veridianne Soares Nazareth (veridianne.nazareth@invepar.com.br)

Concessionária BR-040 S/A (Via040)

## CARACTERIZAÇÃO DA FROTA DE CAMINHÕES DA RODOVIA BR-040 PARA FINS DE SIMULAÇÃO MICROSCÓPICA COM O VISSIM

**Carolina Moreira de Lima**

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
Graduação em Engenharia de Transportes

**Luiza Vorcaro Fleury**

Universidade Federal de Minas Gerais  
Graduação em Engenharia Civil

**Frederico Amaral e Silva**

**José Elievam Bessa Júnior**

Universidade Federal de Minas Gerais  
Programa de Pós-graduação em Geotecnica e Transportes

**Anáiram Lima Costa**

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
Graduação em Engenharia de Transportes

**Diego Milli da Costa Velho**

Concessionária BR-040 S/A

**Aline Ferreira Andalício**

Universidade Federal de Ouro Preto  
Núcleo de Geotecnica da Escola de Minas  
Programa de Pós-Graduação em Geotecnia

### RESUMO

Este trabalho teve, como meta, caracterizar a frota de caminhões da rodovia BR-040, com o intuito de realizar simulações no Vissim. Para isso, foram obtidas as distribuições acumuladas de massa e de potência de quatro categorias veiculares: leves, médios, pesados e extrapesados. A partir de dados obtidos em uma balança móvel, foram encontradas as informações acerca da massa veicular. Os dados de potência foram estabelecidos para uma amostra de cerca de 450 veículos que passaram em um ponto da via, com as informações sendo obtidas de catálogos técnicos dos veículos encontrados em *websites*. Com o auxílio do TruPer, uma macro utilizada para simular o desempenho de um veículo isolado em uma via, foram estabelecidas as curvas de aceleração máxima e desejada, também necessárias para simulação no Vissim e que são utilizadas juntamente com as curvas de massa e potência para caracterizar o desempenho veicular.

### 1. INTRODUÇÃO

A simulação computacional é uma das formas mais eficientes para representar os vários elementos de um sistema viário e, assim, estimar o comportamento do tráfego sem a necessidade de intervenções na malha viária. Entretanto, ao se escolher utilizar um simulador computacional, é preciso ajustar os seus parâmetros de entrada dos submodelos para que o mesmo possa representar de forma satisfatória a realidade local. Com a evolução tecnológica dos modelos de simulação, o processo de calibração e validação tornou-se ainda mais complexo devido ao maior nível de detalhamento dos simuladores de tráfego, principalmente quando se trata de microssimuladores, o que implica no aumento do número de parâmetros a serem calibrados, assim como no número de funções a serem utilizadas para representar determinados comportamentos (Medeiros, 2012).

O Vissim é um dos principais programas de simulação microscópica para modelar operações de transporte multimodal e pode ser usado para criar diferentes cenários de tráfego em detalhes com uma abordagem dinâmica e estocástica (PTV, 2018). Possui submodelos comportamentais, como os de *car-following*, de mudanças de faixa e aceitação de brechas. Outro submodelo que é fundamental calibrar, sobretudo para modelagem de rodovias, é o modelo de desempenho veicular. Na literatura, é possível encontrar trabalhos que coletaram

dados de campo com o intuito de caracterizar frotas de veículos pesados para fins de simulação, como, por exemplo, com o TWOPAS (Moreno *et al.*, 2016), com o CORSIM (Cunha *et al.*, 2009) e com o INTEGRATION (Demarchi e Setti, 2003).

Sendo assim, este trabalho teve como meta caracterizar a frota de caminhões que trafegam atualmente na rodovia BR-040, com o intuito de definir parâmetros de entrada do submodelo de desempenho veicular do microssimulador de tráfego Vissim.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO DOS CAMINHÕES

Os dados de massa e potência dos caminhões consiste num dos principais dados de entrada dos microssimulador de tráfego Vissim e é importante para a modelagem de outros softwares, como o TWOPAS (Leiman e May, 1996), o CORSIM (McTrans, 2010) e o INTEGRATION (Rakha, 2002). A relação massa/potência está relacionada com o desempenho de veículos automotores e, consequentemente, implica em perda de velocidade dos caminhões em rampas ascendentes (Cunha *et al.*, 2005). Demarchi (2000) cita que definir o desempenho dos caminhões em rampas ascendentes é um aspecto de grande importância para o projeto geométrico de rodovias e para a análise de capacidade e nível de serviço.

### 2.1. Vissim

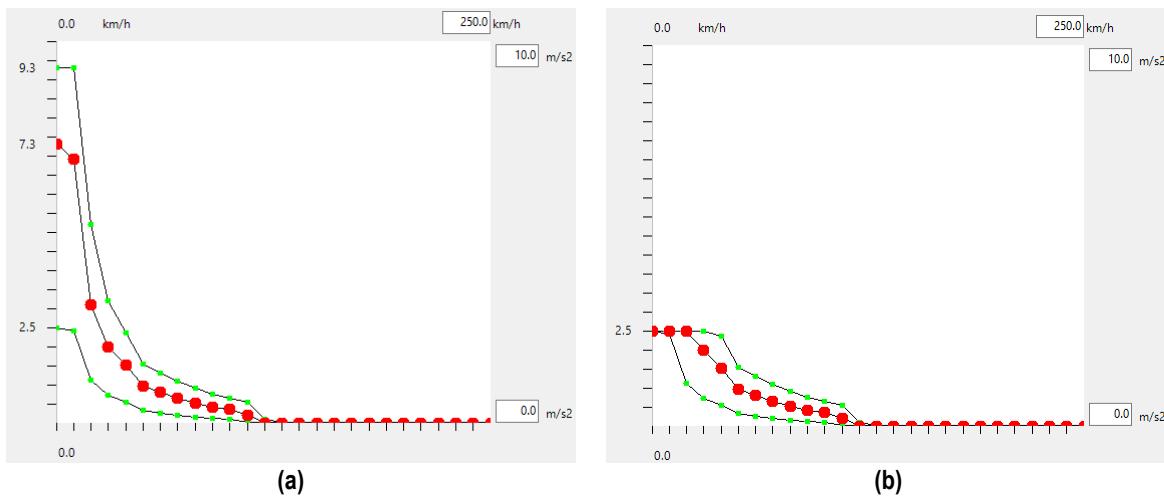
As diferenças no comportamento dos diferentes veículos são justificadas pelas propriedades de aceleração e desaceleração, juntamente com os dados de massa e potência, usando-se, para isso, funções de distribuição em vez de dados individuais. O microssimulador fornece funções padrões de aceleração e desaceleração para os tipos de veículos normalmente usados na Europa Ocidental, o que justifica a necessidade da caracterização da frota típica do local que se deseja simular (PTV, 2018).

A função de aceleração máxima está relacionada com a velocidade atual do veículo e significa aquelas situações em que os motores de combustão são usados plenamente, sobretudo em velocidades mais baixas e em rampas (PTV, 2018). No Vissim, existem quatro tipos de funções: duas de aceleração, máxima e desejada (Figura 1), e duas de desaceleração, também máxima e desejada.

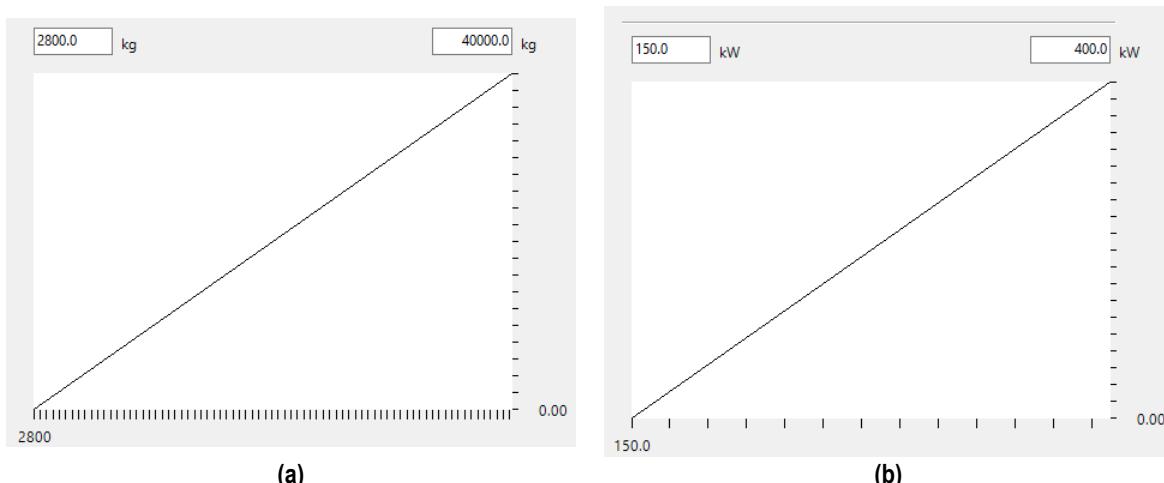
As curvas citadas situam-se dentro de um intervalo de valores máximo e mínimo, tendo, entre elas, um valor médio representadas pela mediana das distribuições de aceleração para um dado valor de velocidade (PTV, 2018). Na Figura 1, as curvas com marcadores verdes indicam as curvas máxima e mínima para um dado valor de velocidade, enquanto que os marcadores vermelhos indicam a mediana desse intervalo. A Figura 2 mostra as distribuições acumuladas de massa e de potência para o veículo *default* do Vissim.

A aceleração máxima é usada para manter uma certa velocidade em rampas, ou seja, quando é necessária uma aceleração maior. Ela é ajustada, automaticamente, em  $-0,1 \text{ m/s}^2$  para cada 1% de rampa ascendente e em  $+0,1 \text{ m/s}^2$  para cada 1% de rampa descendente. Essa função é dependente da relação massa/potência dos veículos, da seguinte forma: se a relação máxima/potência de um veículo é a mínima possível (da combinação de valores aleatórios obtidos das curvas de massa e de potência), a aceleração máxima é escolhida na curva de valores mínimos, para uma dada velocidade; da mesma forma, se a relação massa/potência é máxima, é selecionada uma aceleração na curva de valores máximos; e se a relação massa/potência tem um valor médio, a aceleração é selecionada com a curva de medianas.

Para valores intermediários, é realizada uma interpolação linear. A aceleração desejada é usada em todas as situações em que a aceleração máxima não é necessária, com a aceleração atual limitada pela desejada (PTV, 2018).



**Figura 1:** Distribuição de aceleração máxima (a) e desejada (b) para o caminhão *default* do Vissim



**Figura 2:** Distribuições de massa (a) e potência (b) para o caminhão *default* do Vissim

A função da desaceleração máxima é baseada no maior valor tecnicamente possível. Como os valores de desaceleração tem um sinal algébrico negativo, a desaceleração máxima é o menor valor de aceleração. A desaceleração desejada é ajustada automaticamente para que ela não seja menor do que a desaceleração máxima. Assim como para a curva de aceleração máxima, a curva de desaceleração máxima é ajustada, automaticamente, em  $-0,1 m/s^2$  para cada 1% de rampa ascendente e em  $+0,1 m/s^2$  para cada 1% de rampa descendente (PTV, 2018). As funções de desaceleração são usadas para frenagem e não são objeto de análise deste trabalho.

As distribuições de massa e de potência foram obtidas em campo, enquanto que as distribuições de aceleração máxima e desejada foram estimadas com base no TruPer (Demarchi, 2000).

## 2.2. TruPer

O TruPer é uma macro, criada em Visual Basic 5.0, utilizada para simular o desempenho de um veículo isolado em uma via, englobando vários aspectos dessa interação. Por meio dessa ferramenta, é possível obter a velocidade e a distância em um intervalo de tempo específico, o que permite a elaboração de diferentes curvas e análises (Demarchi, 2000).

Nesse suplemento, é possível optar por dois diferentes tipos de simulação: modelo completo e modelo simplificado. O modelo completo baseia-se em trocas de marcha e potência variável em função da rotação do motor, o qual representa melhor as condições de desempenho do veículo rodoviário. O modelo simplificado considera que a potência se mantém constante, independente da velocidade. Neste trabalho, foi utilizado o modelo completo para estimar as curvas de aceleração máxima e desejada.

## 3. COLETA DE DADOS DE MASSA E POTÊNCIA

A rodovia BR-040 inicia-se em Brasília (DF) e termina no Rio de Janeiro (RJ), com extensão de 1175,5 km, nos quais 936,8 km são de responsabilidade da concessionária BR-040 S/A. Para a caracterização da frota típica de caminhões da rodovia BR-040 em relação à massa e potência, foram utilizados dados disponibilizados pela concessionária BR-040 S/A, que consistiam em pesagens realizadas por balanças móveis em dez pontos ao longo da rodovia, no ano de 2017, distribuídos de acordo com a Tabela 1.

**Tabela 1:** Balanças móveis utilizadas na coleta de dados

km	Sentido	Pista	Data da coleta		Tamanho da amostra
			Início	Fim	
47	Norte	Simples	02/05/2017	08/05/2017	3811
86	Norte	Simples	09/05/2017	15/05/2017	2749
145	Norte	Simples	02/05/2017	08/05/2017	1684
284	Sul	Simples	09/05/2017	15/05/2017	2478
422	Sul	Simples	17/05/2017	23/05/2017	3170
422	Norte	Simples	17/05/2017	23/05/2017	3803
554	Sul	Dupla	24/05/2017	30/05/2017	3812
607	Sul	Dupla	04/06/2017	09/06/2017	3812
607	Norte	Dupla	10/06/2017	13/06/2017	3812
767	Sul	Dupla	04/06/2017	10/06/2017	1708

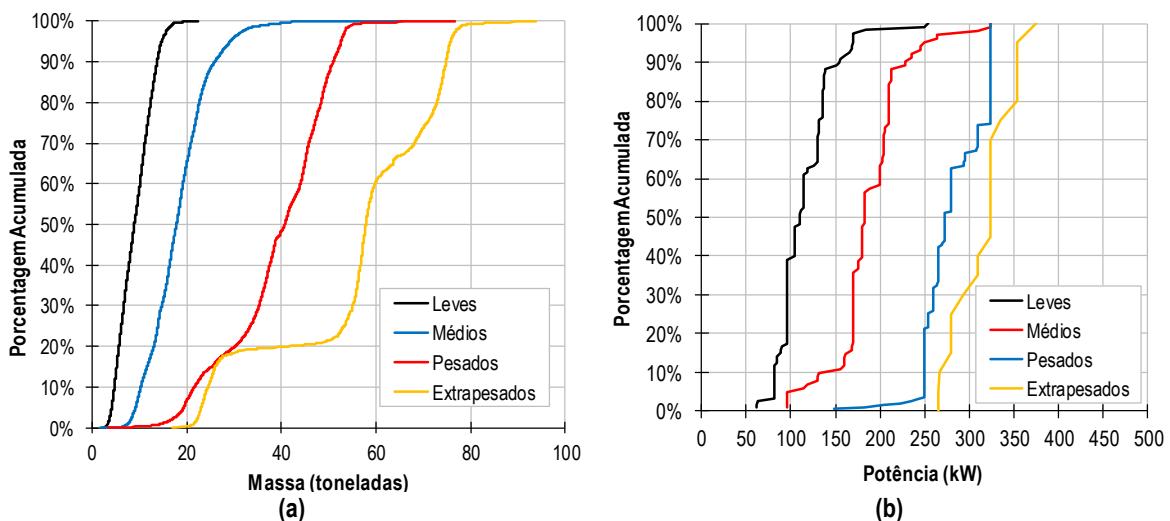
A amostra fornecida é constituída de 30839 caminhões, os quais estavam divididos em categorias de acordo com o número de eixos. Os dados da potência dos caminhões foram obtidos no km 554, um dos pontos onde a balança móvel foi utilizada para pesagem dos veículos, escolha feita devido à proximidade deste com Nova Lima, onde se encontra a sede da concessionária, além de ser um dos pontos com o maior tráfego veicular. Foram coletados os dados de marca e modelo de 450 caminhões e, com estes, foram obtidas as potências através dos *websites* dos fabricantes de cada tipo de veículo.

Foram obtidas distribuições de massa, potência e massa/potência de acordo com o trabalho de Cunha *et al.* (2005). A sugestão dos autores foi para que os caminhões fossem agrupados em quatro categorias: Leves, Médios, Pesados e Extrapesados. A ideia foi não caracterizar os veículos em muitas categorias, haja vista que alguns simuladores, como o CORSIM

(McTrans, 2010), apenas modela quatro tipos de veículos. No Vissim, é possível caracterizar mais de quatro categorias, mas, como não há um consenso sobre quantas categorias veiculares é o ideal, resolveu-se fazer um estudo para essas quatro categorias. Na Tabela 2, é possível verificar os valores de massa e potência média dos caminhões da amostra, agrupados de acordo com as quatro classes de caminhões definidas. Na Figura 3, apresentam-se as distribuições acumuladas de massa e potência (que podem ser inseridas no Vissim) para cada uma das classes veiculares.

**Tabela 2:** Classes de caminhões sugeridas

Classe	Eixos	Caminhões	Média		
			Massa kg	Potência kW	cv
Leves	2	2C	9113	116	158
Médios	3 e 4	3C, 2S1, 2S2, 2C2, 2I2, 3S1, 4C, 4CD, 4DT e 2C3	18414	196	266
Pesados	5 e 6	2S3, 2I3, 3S3, 2I1, 3C2, I2, 3S2, 2R4, 3C3, 3D3L, 3I1, 3I3, 3S3 e 4R2	37615	283	385
Extrapesados	7 ou mais	3T4, 3D4, 3Q4 e 4R3	58792	322	438



**Figura 3:** Distribuições acumuladas de massa (a) e potência (b) por classe sugerida

#### 4. OBTENÇÃO DAS CURVAS DE ACELERAÇÃO MÁXIMA E DESEJADA

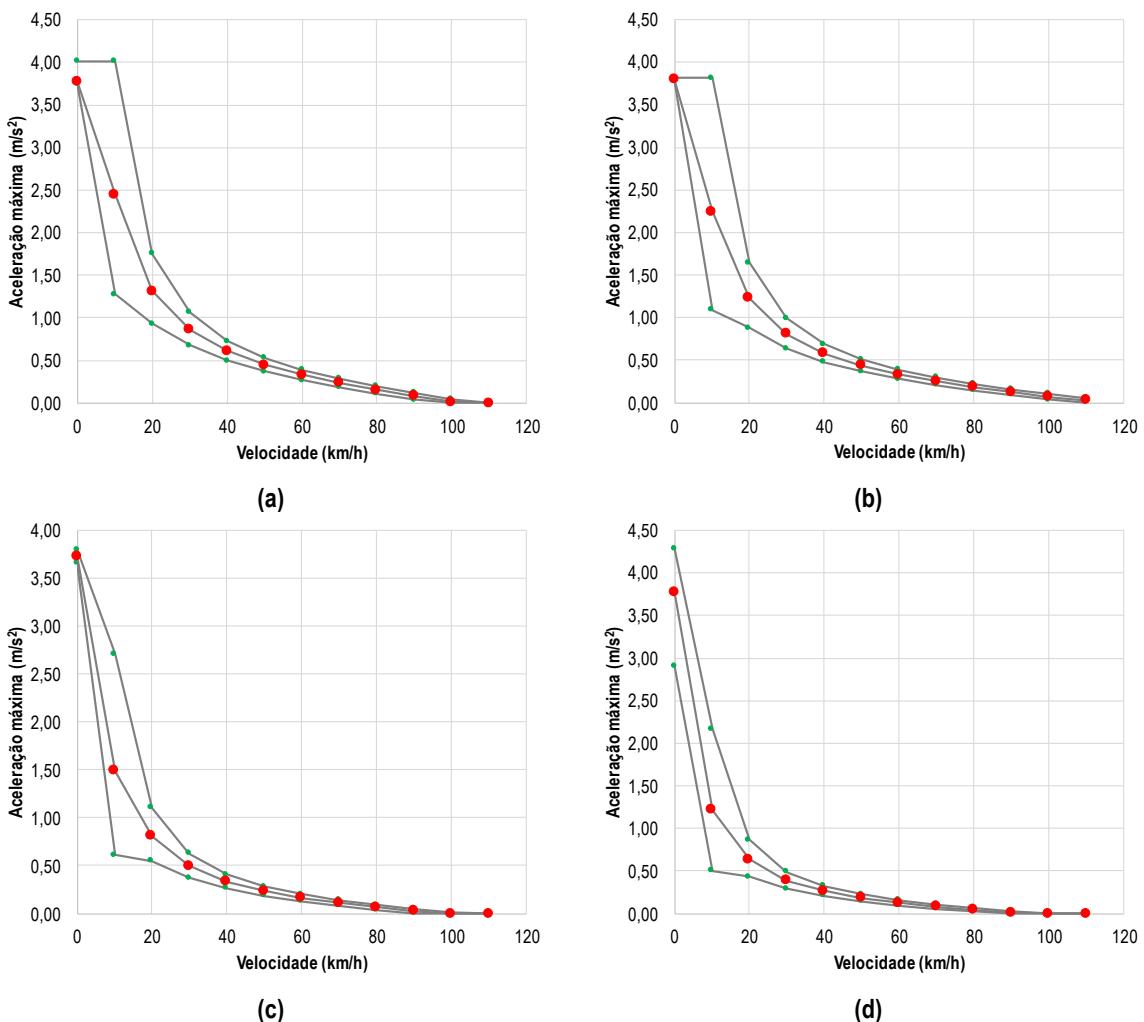
O método de obtenção das curvas de aceleração máxima consistiu em simular, no TruPer, um veículo tipo de cada uma das classes veiculares numa rampa (ascendente ou descendente) de 5 km, com velocidade inicial de 0 km/h e velocidade limite de 110 km/h. As rampas variaram, em módulo, de 0% a 8%

Na definição de parâmetros de projeto, é comum utilizar o 85º percentil de uma distribuição de frequência acumulada, como na definição da velocidade média de viagem (DNIT, 2006; TRB, 2010) e de um veículo de projeto (Brilon e Weiser, 2006). Para simulação de cada veículo tipo no TruPer, foram utilizados, portanto, os 85º percentis das distribuições

acumuladas da relação massa/potência (RMP) e da massa (M), tendo sido calculada a potência (P) a partir desses dois valores, conforme o resultado abaixo:

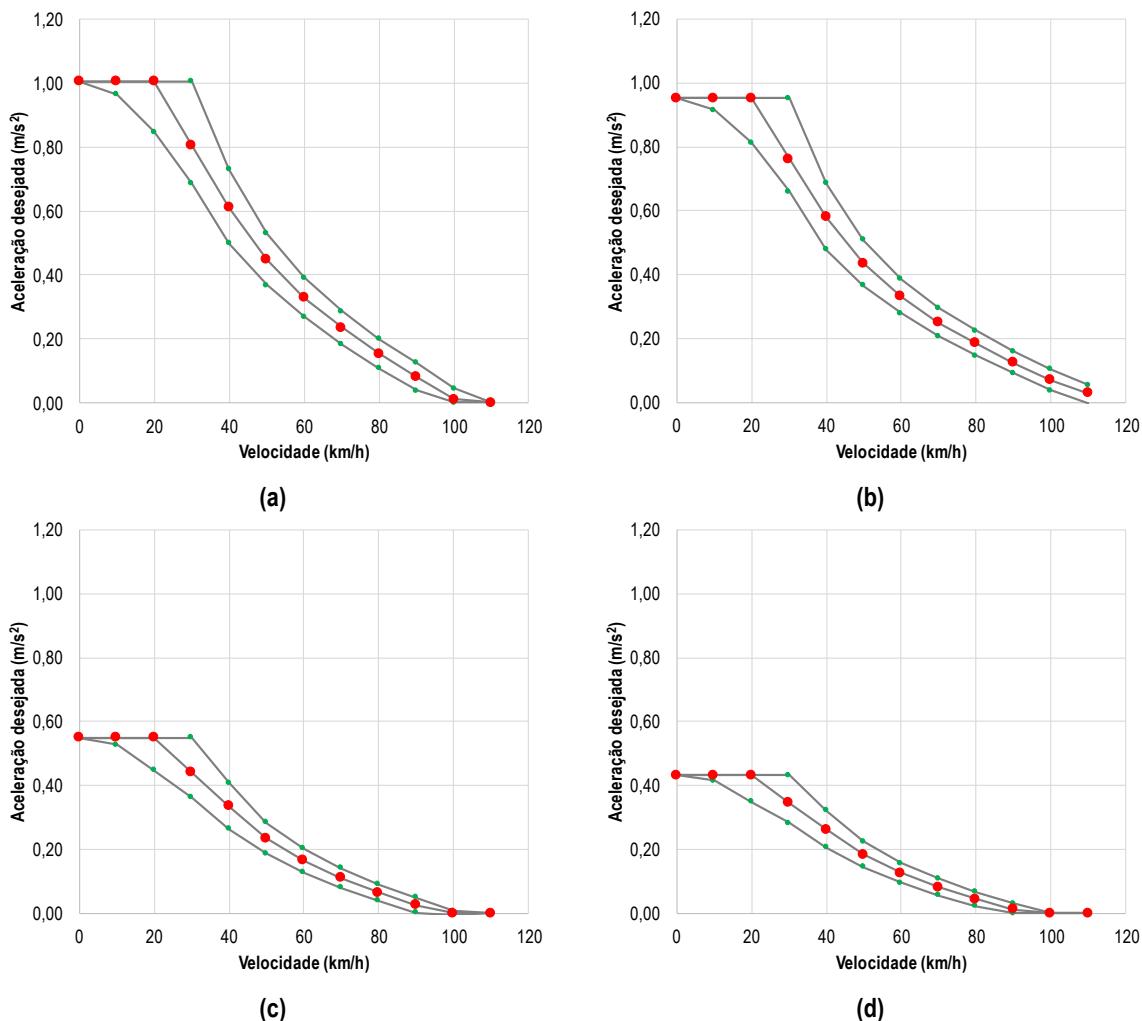
- Leves: RMP = 112 kg/kW; M = 13.200 kg; e P = 118 kW;
- Médios: RMP = 122 kg/kW; M = 23.900 kg; e P = 196 kW;
- Pesados: RMP = 175 kg/kW; M = 49.500 kg; e P = 283 kW; e
- Extrapesados: RMP = 230 kg/kW; M = 73.900 kg; e P = 321 kW.

As distribuições de aceleração do Vissim possuem valores máximo, mínimo e mediana para velocidades específicas, como mostra a Figura 1. Com os dados encontrados com o TruPer, foram definidas 11 classes de velocidade, de 0 a 110 km/h. Para a primeira classe, foram analisadas as acelerações com velocidades de 0 a 5 km/h (ponto representativo da classe igual a 0 km/h); 5 a 15 km/h (ponto representativo da classe igual a 10 km/h), e assim por diante, sendo a última classe definida com velocidades entre 105 e 110 km/h (ponto representativo da classe igual a 110 km/h). O valor mínimo consiste na média menos dois desvios padrões, enquanto os valores máximos são obtidos da média mais dois desvios padrões, para cada intervalo de velocidades supracitado.



**Figura 4:** Distribuições de aceleração máxima obtidas para os caminhões leves (a), médios (b), pesados (c) e extrapesados (d)

A Figura 4 mostra as distribuições de acelerações máximas para as quatro classes de caminhões. A obtenção das acelerações desejadas não foi realizada diretamente a partir de dados de campo, pois a definição de “desejada” não é bem definida no manual do simulador (PTV, 2018) e, portanto, não é trivial. Sendo assim, as curvas (Figura 5) foram definidas de acordo com a proporção de cada ponto das distribuições de aceleração máxima e desejada do veículo *default* do Vissim. Tanto para as curvas de aceleração desejada quanto para a máxima, os maiores valores ocorreram para os veículos leves e os menores para os extrapesados, sendo significativamente menores do que os valores *default* do Vissim (Figura 1).



**Figura 5:** Distribuições de aceleração desejada obtidas para os caminhões leves (a), médios (b), pesados (c) e extrapesados (d)

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve, como meta, caracterizar a frota de caminhões da rodovia BR-040, com o intuito de realizar simulações no Vissim. Para isso, foram obtidas as distribuições acumuladas de massa e de potências de quatro categorias veiculares: leves, médios, pesados e extrapesados. Com o auxílio do TruPer, uma macro utilizada para simular o desempenho de um veículo isolado em uma via, foram estabelecidas as curvas de aceleração máxima e desejadas, necessárias para simulação no Vissim e que são utilizadas juntamente com as curvas de massa e potência para caracterizar o desempenho veicular.

Para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação do método proposto neste trabalho para caracterizar mais classes veiculares, categorizados, por exemplo, em função do número de eixos ou do comprimento dos veículos. Recomenda-se, também, avaliar a aplicabilidade do método proposto para modelar veículos pesados em outros microssimuladores de tráfego.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à Concessionária Via040 e à Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) pelo apoio à pesquisa e pelos recursos financeiros disponibilizados para o desenvolvimento do trabalho. Agradecem, também, à FAPEMIG, pelo apoio financeiro sob número de processo TEC-APQ-03779-16.

#### REFERÊNCIAS

- Brilon, W. e F. Weiser (2006) Two-lane rural highways: the German experience. *Transportation Research Record* 1988, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 38-47.
- Cunha, A. L. B. N.; J. E. Bessa Jr. e J. R. Setti (2009) Genetic Algorithm for the Calibration of Vehicle Performance Models of Microscopic Traffic Simulators. Fourteenth Portuguese Conference on Artificial Intelligence. *LNAI Proceedings.*, v. 5816. p. 3-14, Springer.
- Cunha, A. L. B. N.; M. L. Mon-Ma; J. J. Aratijo; C. Y. Egami e J. R. Setti (2005) Caracterização da frota de caminhões no sistema Anhanguera - Bandeirantes. *XIX ANPET Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, Recife-PE, 2005, CD-ROM.
- Demarchi, S. H. (2000) *TruPer Simulador de Desempenho de Veículos Rodoviários e Ferroviários*. 30 f. Arquivo de Help. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, 2000.
- Demarchi, S. H. e J. R. Setti (2003) Limitations of passenger-car equivalent derivation for traffic streams with more than one truck type. *Transportation Research Record* 1852, Washington, DC, EUA, p. 96-104.
- DNIT (2006) *Manual de Estudos de Tráfego*. Ministério dos Transportes, Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, Rio de Janeiro, RJ.
- Leiman, L. e A. D. May (1996) *User-Friendly interface for rural highway computer simulation models with emphasis on the incorporation of the TWOPAS model*. Report N° FHWA/CA/TO-96/25. NTIS-National Technical Information Service, U. S. Department of Commerce. University of California, Berkeley CA.
- McTrans (2010) *CORSIM – User's Guide*. TSIS Version 6.2, McTrans, University of Florida.
- Medeiros, A. L. (2012) *Aplicabilidade de algoritmos genéticos para calibração de redes viárias urbanas microssimuladas*. 77 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- Moreno, A. T. et al. (2016) Effect of Average Passing Zone Length on Spanish Two-Lane Highways Traffic Performance. 95<sup>th</sup> TRB Annual Meeting. *Proceedings...*, Washington, D. C.
- PTV (2018) *VISSIM 10 User Manual*. Planung Transport Verkehr AG – PTV Vision, Karlsruhe, Germany.
- Rakha, H. (2002) *INTEGRATION Release 2.30 for Windows: User's Guide*, Volumes 1 e 2, Michel Van Aerde & Associates Ltd., Blacksburg, VA.
- TRB (2010) *Highway Capacity Manual 2010*. Transportation Research Board. Washington D.C.

---

#### Endereço para contato:

Luiza Vorcaro Fleury (luizavfleury@gmail.com)

Esp. Frederico Amaral e Silva (fred.amarals@gmail.com)

Prof. Dr. José Elievam Bessa Júnior (elievam@etg.ufmg.br ou elievamjr@gmail.com)

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Departamento de Eng. de Transportes e Geotecnica (DETG)  
Avenida Antônio Carlos, 6.627, Escola de Engenharia, Bloco 1, Pampulha, Belo Horizonte, MG, 31.270-901

Carolina Moreira de Lima (carolina.mdelima@gmail.com)

Anáiram Lima Costa (anairamlcosta@gmail.com)

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Depto. de Eng. de Transportes (DET)  
Av. Amazonas 5.253, Nova Suíça, Belo Horizonte, MG, 30.421-169

Diego Milli da Costa Velho (Diego.Milli@via040.invepar.com.br)

Aline Ferreira Andalício (Aline.Andalicio@via040.invepar.com.br)

Concessionária BR-040 S/A (Via040)

Rua Niágara, 350, Jardim Canadá, Nova Lima, MG, 34.007-652