

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Análise custo-benefício de ondulações transversais e
redutores eletrônicos de velocidade no Brasil**

Florian Immanuel Schumacher

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

Piracicaba
2015

Florian Immanuel Schumacher
Bacharel em Ciências Econômicas

**Análise custo-benefício de ondulações transversais e
redutores eletrônicos de velocidade no Brasil**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ VICENTE CAIXETA FILHO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de
concentração: Economia Aplicada

**Piracicaba
2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Schumacher, Florian Immanuel

Análise custo-benefício de ondulações transversais e redutores eletrônicos de velocidade no Brasil / Florian Immanuel Schumacher. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2015.

170 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Análise custo-benefício 2. Ondulação transversal 3. Redutor eletrônico de velocidade 4. Segurança viária I. Título

CDD 338.13
S392a

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho às mais de 600 mil
pessoas que são feridas todo ano em
acidentes de trânsito no Brasil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para a consecução deste trabalho. Em especial, aos meus orientadores Caixeta e Shirota, aos meus colegas e amigos Vagnão, Salsa, Aly, Djuli, Sanches, Shakira, Robado e Nóia, à minha namorada Frida, ao meu alter Sack. Todos tiveram um papel fundamental ao longo dos meus anos de doutorado.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| RESUMO | 9 |
| ABSTRACT | 11 |
| LISTA DE FIGURAS | 13 |
| LISTA DE TABELAS | 15 |
| LISTA DE SIGLAS | 19 |
| LISTA DE ABREVIATURAS..... | 21 |
| LISTA DE SÍMBOLOS | 23 |
| 1 INTRODUÇÃO | 25 |
| 1.1 Objetivos..... | 28 |
| 2 ONDULAÇÕES TRANSVERSAIS E REDUTORES ELETRÔNICOS DE VELOCIDADE..... | 31 |
| 2.1 Definição..... | 31 |
| 2.2 Legislação | 36 |
| 2.2.1 Ondulações transversais..... | 36 |
| 2.2.2 Legislação sobre redutores eletrônicos de velocidade..... | 38 |
| 2.2.3 Considerações sobre a legislação..... | 39 |
| 2.3 Grupos de interesse..... | 41 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 43 |
| 3.1 Segurança viária..... | 43 |
| 3.2 Análise custo-benefício | 46 |
| 3.3 Avaliação de projetos de segurança viária..... | 50 |
| 3.4 Avaliação dos impactos de ondulações transversais e dispositivos de fiscalização eletrônica..... | 54 |
| 3.4.1 Efeito sobre a acidentalidade | 54 |
| 3.4.2 Efeito sobre o nível de ruído..... | 60 |
| 3.4.3 Efeito sobre a mobilidade | 61 |
| 3.4.4 Efeito sobre a poluição atmosférica..... | 62 |
| 3.4.5 Efeitos sobre o consumo de combustível..... | 70 |
| 3.4.6 Horizonte de planejamento | 71 |
| 3.4.7 Taxa de desconto | 72 |
| 3.4.8 Custo de implementação | 72 |
| 3.4.9 Valoração monetária dos efeitos..... | 74 |
| 3.5 Análises custo-benefício de ondulações transversais e dispositivos de fiscalização eletrônica..... | 76 |
| 3.5.1 Gitelman e Hakkert (2006) | 79 |
| 3.5.2 Yannis e Evgenikos (2005)..... | 83 |
| 3.5.3 Elvik (2001a) | 87 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS | 93 |
| 4.1 Análise custo-benefício | 93 |
| 4.1.1 Etapas..... | 97 |
| 4.2 Visão geral dos procedimentos adotados..... | 98 |
| 4.3 Perspectiva da análise e grupos afetados | 99 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.4 | Alternativas consideradas e base de comparação..... | 100 |
| 4.5 | Pressupostos e bases de cálculo | 101 |
| 4.5.1 | Condições de tráfego | 102 |
| 4.5.2 | Custo de implementação | 104 |
| 4.6 | Identificação e quantificação dos impactos..... | 104 |
| 4.6.1 | Efeito de segurança | 106 |
| 4.6.2 | Efeito de mobilidade | 108 |
| 4.6.3 | Efeito ambiental | 109 |
| 4.6.4 | Efeito energético | 110 |
| 4.7 | Valoração monetária dos impactos | 111 |
| 4.7.1 | Cálculo do valor presente..... | 112 |
| 4.8 | Tratamento dos impactos não quantificáveis ou não monetizáveis | 114 |
| 4.9 | Taxa de desconto intertemporal | 115 |
| 4.10 | Identificação e tratamento de fatores de risco e de incerteza..... | 115 |
| 4.11 | Comparação de benefícios e custos..... | 117 |
| 4.12 | Análise pós-projeto | 118 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 119 |
| 5.1 | OT-I e REV-10..... | 119 |
| 5.1.1 | OT-I..... | 121 |
| 5.1.2 | REV-10..... | 126 |
| 5.2 | OT-II e REV-15 | 131 |
| 5.2.1 | OT-II..... | 133 |
| 5.2.2 | REV-15..... | 137 |
| 5.3 | REV-40..... | 142 |
| 5.3.1 | Outros REV | 148 |
| 5.4 | Comparação dos dispositivos | 150 |
| 5.5 | Impactos não quantificados..... | 152 |
| 6 | CONCLUSÕES..... | 155 |
| | REFERÊNCIAS..... | 159 |

RESUMO

Análise custo-benefício de ondulações transversais e redutores eletrônicos de velocidade

Dado o grande impacto econômico e social dos acidentes de trânsito no Brasil, a eficácia comprovada de medidas de controle de velocidade em reduzir acidentes de trânsito, o uso frequente de algumas dessas medidas no Brasil, a falta de estudos sobre o impacto econômico dessas medidas no Brasil e a especificidade regional das análises de custo-benefício, o objetivo deste estudo é fazer uma avaliação econômica das intervenções de segurança viária ondulação transversal e redutor eletrônico de velocidade no Brasil. Desenvolve-se um método para avaliar o custo-benefício destas intervenções de segurança viária para um conjunto de condições de tráfego definidas pelas variáveis velocidade de fluxo livre, volume de tráfego e quantidade de acidentes com vítima, e avalia-se sob quais dessas condições cada intervenção é custo-eficiente. Os resultados mostram que a relação custo-benefício dos dispositivos redutores de velocidade depende fortemente da acidentalidade do local de implementação e que os dispositivos são tanto mais custo-eficientes quanto maior for a acidentalidade e quanto menor for o volume de tráfego.

Palavras-chave: Análise custo-benefício; Ondulação transversal; Redutor eletrônico de velocidade; Segurança viária

ABSTRACT

Benefit-cost analysis of Brazilian conventional and electronic speed humps

Given the large economic and social impact of traffic accidents in Brazil, the proven effectiveness of speed control measures to reduce traffic accidents, the frequent use of some of these measures in Brazil, the lack of studies on the economic impact of these measures in Brazil and the inapplicability of cost-benefit analyzes conducted in other countries for the Brazilian reality, the objective of this study is to make an economic evaluation of road safety interventions speed hump and electronic speed hump in Brazil. We develop a method to evaluate the cost effectiveness of these interventions in road safety based on a reduced set of parameters and evaluate under what conditions of free flow speed, traffic volume and number of injury accidents each intervention is cost-effective. Results show that the cost-benefit ratio of the speed reducing devices strongly depends on the accident rate and that the greater the accident rate and the lower the traffic volume are, more cost effective the devices are.

Keywords: Cost-benefit analysis; Speed hump; Electronic speed hump; Road safety

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1 – Tipos de redutores eletrônicos de velocidade | 31 |
| Figura 2 – Emissão de poluentes (g) em função da velocidade média (km/h)..... | 65 |
| Figura 3 – Consumo de gasolina (l) em função da velocidade média (km/h)..... | 71 |
| Figura 4 – FRL para OT e REV, em zona urbana, segundo o modelo de potência | 107 |
| Figura 5 – Tempo de percurso (s/120m) em função da velocidade (km/h)..... | 108 |
| Figura 6 – VPL da OT-I por grupo de <i>VFL</i> | 123 |
| Figura 7 – VPL da OT-I por grupo de <i>ACV</i> | 123 |
| Figura 8 – VPL da OT-I por grupo de <i>TMDA</i> | 124 |
| Figura 9 – Análise de sensibilidade da OT-I, de acordo com a contribuição dos parâmetros à variância do VPL | 126 |
| Figura 10 – VPL do REV-10 por grupo de <i>VFL</i> | 127 |
| Figura 11 – VPL do REV-10 por grupo de <i>ACV</i> | 128 |
| Figura 12 – VPL do REV-10 por grupo de <i>TMDA</i> | 128 |
| Figura 13 – Análise de sensibilidade do REV-10, de acordo com a contribuição dos parâmetros à variância do VPL | 131 |
| Figura 14 – VPL da OT-II por grupo de <i>VFL</i> | 134 |
| Figura 15 – VPL da OT-II por grupo de <i>ACV</i> | 135 |
| Figura 16 – VPL da OT-II por grupo de <i>TMDA</i> | 135 |
| Figura 17 – Análise de sensibilidade da OT-II, de acordo com a contribuição dos parâmetros à variância do VPL | 137 |
| Figura 18 – VPL do REV-15 por grupo de <i>VFL</i> | 139 |
| Figura 19 – VPL do REV-15 por grupo de <i>ACV</i> | 139 |
| Figura 20 – VPL do REV-15 por grupo de <i>TMDA</i> | 140 |
| Figura 21 – Análise de sensibilidade do REV-15, de acordo com a contribuição dos parâmetros à variância do VPL | 142 |

| | |
|--|-----|
| Figura 22 – VPL do REV-40 por grupo de <i>VFL</i> | 145 |
| Figura 23 – VPL do REV-40 por grupo de <i>ACV</i> | 145 |
| Figura 24 – VPL do REV-40 por grupo de <i>TMDA</i> | 146 |
| Figura 25 – Análise de sensibilidade do REV-40, de acordo com a contribuição dos parâmetros à variância do VPL..... | 148 |
| Figura 26 – VPL médio de diferentes REV, por velocidade regulamentada..... | 149 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Dimensões das ondulações transversais | 31 |
| Tabela 2 – Itens incluídos e omitidos em análises custo-benefício de projetos de investimento rodoviário na Noruega | 56 |
| Tabela 3 – Impactos potenciais de medidas de segurança viária para pedestres e ciclistas | 58 |
| Tabela 4 – Estudos sobre o impacto ambiental de OT, em percentagem por veículo-km | 66 |
| Tabela 5 – Taxas absolutas de emissão de poluentes antes de após medidas de moderação de tráfego, por tipo de veículo, em g/km..... | 67 |
| Tabela 6 – Fatores médios de emissão de veículos leves novos, em g/km | 69 |
| Tabela 7 – Coeficientes benefício-custo de intervenções de controle de velocidade..... | 77 |
| Tabela 8 – Acidentes de trânsito com vítima, segundo a severidade do acidente, trecho de via urbana, Israel, 2003-2005 | 80 |
| Tabela 9 – Estimativa do efeito de segurança de OT, vias urbanas, Israel, 1994-1998 | 80 |
| Tabela 10 – Custo médio de acidentes de trânsito com vítima, por nível de severidade, Israel, 2000 | 81 |
| Tabela 11 – Benefício anual do efeito de segurança da implementação de cinco OT em trecho de 500 m de via urbana em Israel | 81 |
| Tabela 12 – Custo anual do efeito de mobilidade da implementação de cinco OT em um trecho de 500 m de via urbana em Israel | 82 |
| Tabela 13 – Custo de implementação de OT, vias urbanas, Israel | 82 |
| Tabela 14 – ACB de cinco OT em trecho de 500 m de via urbana em Israel | 83 |
| Tabela 15 – Estimativa do efeito de segurança de OT e “woonerfs”, região metropolitana de Atenas, Grécia, 1991-1999 | 84 |
| Tabela 16 – Custo de acidentes de trânsito, por severidade da lesão, Grécia | 85 |
| Tabela 17 – Benefício anual devido ao efeito de segurança de OT e “woonerfs”, região metropolitana de Atenas, Grécia, 1991-1999 | 85 |
| Tabela 18 – Custo anual devido ao efeito de mobilidade de OT e “woonerfs”, região metropolitana de Atenas, Grécia, 1991-1999 | 85 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 19 – Custo de implementação de OT e “woonerfs”, região metropolitana de Atenas, Grécia, 1991-1999..... | 86 |
| Tabela 20 – ACB de OT e “woonerfs”, região metropolitana de Atenas, Grécia, 1991-1999 | 86 |
| Tabela 21 – Efeito de medidas redutoras de velocidade de amplo alcance sobre a velocidade e o volume de tráfego, Grã-Bretanha, 199-?..... | 87 |
| Tabela 22 – Efeito estimado e observado de medidas redutoras de velocidade de amplo alcance sobre o número de acidentes com vítima, Grã-Bretanha, 199-?..... | 88 |
| Tabela 23 – Benefício do efeito de segurança de medidas redutoras de velocidade de amplo alcance, Grã-Bretanha, 199-?..... | 88 |
| Tabela 24 – Custo do efeito de mobilidade de medidas redutoras de velocidade de amplo alcance, Grã-Bretanha, 199-?..... | 89 |
| Tabela 25 – Custo da perda do excedente do consumidor de medidas redutoras de velocidade de amplo alcance, Grã-Bretanha, 199-?..... | 90 |
| Tabela 26 – Análise custo-benefício de medidas redutoras de velocidade de amplo alcance, Grã-Bretanha, 199-?..... | 90 |
| Tabela 27 – Parâmetros técnicos utilizados na ACB | 102 |
| Tabela 28 – Intervalos de variação das condições dos trechos críticos da via..... | 103 |
| Tabela 29 – Custo de implementação de dispositivos redutores de velocidade de trânsito, via de duas faixas, preços de janeiro de 2014..... | 104 |
| Tabela 30 – Efeitos incluídos na ACB..... | 105 |
| Tabela 31 – Parâmetros monetários da ACB | 112 |
| Tabela 32 – Parâmetros da análise de sensibilidade | 116 |
| Tabela 33 – Efeitos simulados da OT-I e do REV-10 | 121 |
| Tabela 34 - ACB de uma OT-I..... | 122 |
| Tabela 35 – Probabilidade percentual da OT-I resultar em um VPL positivo, por grupo combinado de <i>ACV</i> e <i>TMDA</i> | 125 |
| Tabela 36 – ACB de um REV-10 | 127 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 37 – Probabilidade percentual do REV-10 resultar em um VPL positivo, por grupo combinado de <i>ACV</i> e <i>TMDA</i> | 130 |
| Tabela 38 – Efeitos simulados da OT-II e do REV-15..... | 132 |
| Tabela 39 – ACB de uma OT-II..... | 133 |
| Tabela 40 – Probabilidade percentual da OT-II resultar em um VPL positivo, por grupo combinado de <i>ACV</i> e <i>TMDA</i> | 136 |
| Tabela 41 – ACB de um REV-15..... | 138 |
| Tabela 42 – Probabilidade percentual do REV-15 resultar em um VPL positivo, por grupo combinado de <i>ACV</i> e <i>TMDA</i> | 141 |
| Tabela 43 – Efeitos simulados do REV-40 | 143 |
| Tabela 44 – ACB de um REV-40..... | 144 |
| Tabela 45 – Probabilidade percentual do REV-40 resultar em um VPL positivo, por grupo combinado de <i>ACV</i> e <i>TMDA</i> | 147 |
| Tabela 46 – ACB de diferentes REV, por velocidade regulamentada | 150 |
| Tabela 47 – ACB comparativa entre OT-I, REV-10, OT-II, REV-15 e REV-40..... | 151 |
| Tabela 48 – Grupos combinados de <i>ACV</i> e <i>TMDA</i> nos quais há uma probabilidade acima de 50% de que OT e REV resultem em um VPL positivo..... | 152 |

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANTP – Associação Nacional dos Transportes Públicos
BASt – Bundesanstalt für Straßenwesen
Cetran – Conselho Estadual de Trânsito
Contradife – Conselho de Trânsito do Distrito Federal
Contran – Conselho Nacional de Trânsito
CTB – Código de Trânsito Brasileiro
Denatran – Departamento Nacional de Trânsito
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DPVAT – Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre
ECMT – European Conference of Ministers of Transport
ERSO – European Road Safety Observatory
Fecombustíveis – Federação Nacional do Comércio de Combustíveis e de Lubrificantes
FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
GRSP – Global Road Safety Partnership
IGP-DI – índice geral de preços – disponibilidade interna
Inmetro – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPVA – Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
Jari – Junta Administrativa de Recursos de Infrações
NIS – New Israeli Shekel
OECD – Organization for Economic Co-operation and Development
Promising – Promotion of Measures for Vulnerable Road Users
SIM/MS – Sistema de Informações de Mortalidade do Ministério da Saúde
SMTT – Superintendência Municipal de Transportes e Trânsito
SNT – Sistema Nacional de Trânsito

LISTA DE ABREVIATURAS

a.a. – ao ano

ACB – análise custo-benefício

ACV – acidente com vítima

CBC – coeficiente benefício-custo

CS – controle de seção

CV – coeficiente de variação

DALY – “disability-adjusted life year”

DAP – disposição a pagar

DAR – disposição a receber

EC – excedente do consumidor

FE – fiscalização eletrônica

FMA – fator modificador de acidentes

FRA – fator redutor de acidentes

FRL – fator redutor de lesões

FVP – fator de valor presente

FVPCM – fator de valor presente do custo de manutenção

IMBQ – índice de mortes por bilhão de quilômetros percorridos pela frota de veículos rodoviários

KH –Kaldor-Hicks

KHM –Kaldor-Hicks-Moral

máx. – máximo

mín. – mínimo

ONG – organização não governamental

OT – ondulação transversal

OT-I – ondulação transversal tipo I

OT-II – ondulação transversal tipo II

REV – redutor eletrônico de velocidade

REV-20 – redutor eletrônico de velocidade de 20 km/h

REV-30 – redutor eletrônico de velocidade de 30 km/h

REV-40 – redutor eletrônico de velocidade de 40 km/h

RF – radar fixo

TIR – taxa interna de retorno

TJLP – taxa de juros de longo prazo

TMA – taxa mínima de atratividade

TMDA – tráfego médio diário anual

UFIR – unidade de referência fiscal

VC – variação compensatória

VE – variação equivalente

VFL – velocidade de fluxo livre

VMDA – volume médio diário anual

VPL – valor presente líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

- \bar{V}_t – velocidade média antes da intervenção
- \bar{V}_{t+1} – velocidade média após a intervenção
- ACV_0 – total de acidentes com vítima em determinado ano
- $EA_{s,m}$ – efeito ambiental do dispositivo m em termos de emissão da substância s : emissão adicional da substância poluente s que decorre do uso do dispositivo de segurança viária m
- EE_m – efeito energético do dispositivo m : consumo adicional de gasolina que decorre do uso do dispositivo de segurança viária m
- EM_m – efeito de mobilidade do dispositivo m : tempo adicional de viagem gasto pelos motoristas devido ao uso do dispositivo m
- $FRL_{i,m}$ – fator redutor de lesões de severidade i do dispositivo m
- LAV_i – número de vítimas com lesão de severidade i por acidente com vítima
- $LA_{i,0}$ – número de pessoas que sofreram lesão de severidade i em determinado ano
- $LEA_{i,m}$ – número de lesões de severidade i evitadas por ano pelo dispositivo m
- $VAEA_m$ – valor anual do efeito ambiental do dispositivo m
- $VAEE_m$ – valor anual do efeito de mobilidade do dispositivo m
- $VAEM_m$ – valor anual do efeito de mobilidade do dispositivo m
- $VAES_m$ – valor anual do efeito de segurança do dispositivo m
- VEP_s – valor monetário do quilograma de emissão da substância s
- VLE_i – valor monetário de uma lesão de severidade i
- VND_m – velocidade média no dispositivo m
- $VPEA_m$ – valor presente do efeito ambiental do dispositivo m
- $VPEE_m$ – valor presente do efeito de mobilidade do dispositivo m
- $VPEM_m$ – valor presente do efeito de mobilidade do dispositivo m
- $VPES_m$ – valor presente do efeito de segurança do dispositivo m
- $V_{d,m}$ – velocidade média dos veículos à distância d do dispositivo m
- n_m – vida útil do dispositivo de segurança viária m
- £ – libra inglesa
- € – euro
- CO – monóxido de carbono
- dB – decibel

dB(A) – decibel ponderado A

h – hora

HC – hidrocarbonetos

IC_{95%} – intervalo de confiança de noventa e cinco por cento

kg – quilograma

km – quilômetro

km/h – quilômetros por hora

m – metro

NO_x – óxido de nitrogênio

R\$ – real brasileiro

US\$ – dólar americano

G – consumo de gasolina

T – tempo de percurso, em segundos

VHV – valor monetário da hora-veículo

VLG – preço do litro de gasolina a custo de fatores

d – distância do veículo em relação a determinado dispositivo de segurança viária

i – grau de severidade da lesão

m – dispositivo de segurança viária

p – expoente do modelo de potência

r – taxa de desconto do dinheiro no tempo

s – segundo

1 INTRODUÇÃO

Os acidentes de trânsito são uma das principais causas de óbitos e lesões corporais no Brasil e no mundo. O Sistema de Informações de Mortalidade do Ministério da Saúde (SIM/MS) registrou, em 2013, um total de 40.451 mortes em acidentes de trânsito no Brasil. Em 2010, dentre 181 países analisados, o Brasil ficou na quarta colocação quanto ao número total estimado de mortes no trânsito (43.869), atrás de China (275.983), Índia (231.027) e Nigéria (53.339), e na 34ª colocação quanto à taxa de mortalidade por 100 mil habitantes em acidentes de trânsito (TOROYAN, 2013). Segundo dados do Departamento Nacional de Trânsito (Denatran), o número de feridos em acidentes de trânsito no Brasil chegou a 619.831 em 2008¹.

O custo anual dos acidentes de trânsito ocorridos nas aglomerações urbanas do Brasil foi estimado em R\$ 5,3 bilhões em 2001 (preços de abril de 2003²) (IPEA; ANTP, 2003). Somam-se a isso os acidentes ocorridos nas rodovias brasileiras, cujo custo foi estimado em R\$ 22 bilhões para o período julho de 2004 a junho de 2005 (preços de dezembro de 2005) (IPEA; DENATRAN; ANTP, 2006).

O reconhecimento do custo socioeconômico dos acidentes de trânsito levou ao surgimento de diversas iniciativas de promoção da segurança viária. Em âmbito nacional, exemplos relevantes são o Programa Volvo de Segurança no Trânsito (1987) e o Programa de Redução de Acidentes no Trânsito (1993), a Associação Por Vias Seguras (2006), os projetos Chega de Acidentes (2009), Vida no Trânsito (2010), Trânsito+Seguro (2011), a Política Nacional de Redução da Morbimortalidade por Acidentes e Violências (2001), o Projeto de Redução da Morbimortalidade por Acidentes de Trânsito (2002), a Política Nacional de Mobilidade Urbana Sustentável (2004) e o Pacto Nacional pela Redução dos Acidentes no Trânsito (2011). Em âmbito internacional, constituem exemplos as campanhas Make Roads Safe, Global Road Safety Partnership, Decade of Action for Road Safety e First Global Ministerial Conference on Road Safety.

No Brasil, a falta de acompanhamento e monitoração dos acidentes de trânsito limitam a avaliação da situação atual e o desenvolvimento e a implementação de medidas corretivas

¹ Os últimos dados sobre acidentes divulgados pelo Denatran são referentes a 2008. O Registro Nacional de Acidentes e Estatísticas de Trânsito (Renaest), instituído pela Resolução nº 208 do Contran, de 26 out. 2006, substituiu o Sistema Nacional de Estatísticas de Trânsito (Sinest) e, de acordo com a Portaria nº 82 do Denatran, de 16 nov. 2006, estaria disponível no portal de estatísticas de trânsito no site oficial do Denatran. Entretanto, o que o site do Denatran mostra desde 2009, pelo menos, é que o portal Renaest e o sistema Renaest estariam passando por manutenção.

² O que equivale a cerca de R\$ 9,4 bilhões a preços de jan. 2014.

³ O que equivale a cerca de R\$ 33,3 bilhões a preços de jan. 2014.

(RESENDE, 2011). Esforços adicionais são requeridos no estudo da segurança de trânsito, em especial nos países de renda média e baixa, os quais concentram a maior parte dos acidentes de trânsito registrados no mundo (BORSE; HYDER, 2009; SCUFFHAM, 2008).

O excesso de velocidade no trânsito é um dos fatores de risco que mais contribuem para a ocorrência de acidentes, óbitos e lesões corporais no trânsito e é um fator agravante em todos os acidentes de trânsito. Estudos sugerem que um terço dos acidentes de trânsito fatais envolva o excesso de velocidade (GRSP, 2008). Nos países desenvolvidos, tipicamente de 40 a 60% dos motoristas excedem o limite de velocidade, e de 10 a 20% excedem esse limite em mais de 10 km/h (OECD; ECMT, 2006).

O controle da velocidade de trânsito aumenta a proporção dos motoristas que dirigem conforme os limites legais de velocidade e reduz efetivamente o número e a severidade dos acidentes de trânsito (GRSP, 2008; JAMISON et al., 2006).

As principais medidas de controle da velocidade de trânsito são policiamento, controladores eletrônicos de velocidade, tais como radares fixos, radares móveis e redutores eletrônicos de velocidade (REV), alterações verticais da via, tais como ondulações transversais (OT), almofadas antivelocidade e travessias elevadas, e alterações horizontais da via, tais como ilhas de trânsito, chicanes e rotatórias (CUPOLILLO, 2006; MOUNTAIN; HIRST; MAHER, 2005).

Ainda que cada medida apresente vantagens e desvantagens e seja mais ou menos adequada dependendo da situação específica, redes de controladores eletrônicos de velocidade e medidas de infraestrutura viária moderadoras de velocidade levam a reduções significativas, sustentadas e altamente custo-efetivas no número de óbitos e lesões corporais associadas a acidentes de trânsito, inclusive em países em desenvolvimento (JAMISON et al., 2006; MOUNTAIN; HIRST; MAHER, 2005). Jamison et al. (2006) estimam que colocar controladores de velocidade, nos dez por cento de interseções de trânsito mais letais em uma cidade de um milhão de habitantes, custaria apenas US\$ 2 por DALY⁴ evitado na América Latina e no Caribe.

Uma das medidas de controle de velocidade encontradas com maior frequência no Brasil é a ondulação transversal de relevo arredondado⁵, também denominada de lombada ou “quebra-

⁴ “Disability-adjusted life year” (DALY) é uma medida da carga de doenças, expressa como a soma do número de anos de vida perdidos devido à morte precoce e do número de anos de vida vividos com incapacidade. Esta expressão, que frequentemente é traduzida como ano de vida (perdido) ajustado por incapacidade, também pode ser definido como o número de anos de vida saudável perdidos (IHME, 2013).

⁵ A legislação brasileira prevê dois tipos de OT, os quais são conceituados na seção 2.2. Resumidamente, a OT de tipo I é mais curta e restringe velocidade a 20 km/h, enquanto a de tipo II é mais longa e restringe a velocidade a 30 km/h.

molhas” (BARBOSA, 2006; CANNELL; GOLD, 2001; LEAL; BECK; ANDRADE, 1997). Ainda que não se tenham encontrado estatísticas oficiais sobre o número de OT existentes no país, é possível encontrar citações de autoridades segundo as quais a cidade de São Paulo teria em torno de 28 mil unidades (FRANZON, 2011) e a cidade de Belo Horizonte 1.220 unidades (BARBOSA, 2006).

Se, por um lado, a OT é considerada uma das medidas mais eficazes para o controle de velocidade no trânsito (MOUNTAIN; HIRST; MAHER, 2005), por outro lado, pesquisas tem mostrado que as OT ocasionam alguns efeitos colaterais indesejáveis, tais como a penalização indiscriminada de bons e maus motoristas, bem como de pessoas com necessidades especiais, o maior consumo de combustível e maior emissão de gases poluentes, a depreciação acelerada do veículo e o aumento do tempo de resposta de veículos de emergência (AHNA; RAKHAB, 2009; ASLAN et al., 2005; BUNTE, 2000; JAGTMAN; HALE; HEIJER, 2005; WATTS; KRYLOV, 2000). Além disso, as OT, se mal projetadas e implantadas, podem causar danos aos veículos, comprometer o desempenho do tráfego e causar acidentes adicionais (ALENCAR; FREITAS, 2004). De acordo com um relatório de fiscalização do Tribunal de Contas Municipal, emitido em 2009, 30 % das 28 mil OT existentes na cidade de São Paulo estavam irregulares (FRANZON, 2011).

Em consequência da constatação de diversas desvantagens no uso das OT, a empresa Perkons Equipamentos Eletrônicos Ltda. (hoje Perkons S.A.) instalou, em 1992, o primeiro redutor eletrônico de velocidade (REV) na cidade de Curitiba, Brasil (STUMPF, 1999). O REV é um tipo de controlador eletrônico de velocidade que possui caráter ostensivo e combina aspectos do radar fixo (medição da velocidade e captura de imagem), do indicador de velocidade (display luminoso) e do sinal de regulamentação da velocidade máxima permitida (CARDOSO; MOSCARELLI, 2005).

Devido aos bons resultados iniciais alcançados, o uso de REV cresceu de forma considerável (BOCANEGRA, 2006). Em 2007, foram registradas 321 REV em áreas urbanas nas rodovias federais (ALVARENGA, 2011) e o Programa Nacional de Controle Eletrônico de Velocidade previa a elevação desse número para 1130 em 2013, além da operação de 1100 radares fixos e 466 controladores de avanço de sinal vermelho (DNIT, 2011)⁶.

Ainda que a maioria dos efeitos negativos das OT seja evitada pelo uso de REV, estes últimos possuem custos de operação superiores aos primeiros e há evidências de que equipamentos de fiscalização eletrônica (não necessariamente REV) sejam menos eficazes do

⁶ Dentre as várias empresas que atualmente vendem REV estão a Perkons S.A., a Eliseu Kopp & Cia Ltda., a Engebras S.A. e a Sitran Ltda.

que as OT, se regulares, em reduzir o número de acidentes e óbitos em vias urbanas (MOUNTAIN; HIRST; MAHER, 2005).

Para maximizar a eficácia de políticas de prevenção de acidentes em termos de resultados de saúde e alocação eficiente de recursos, métodos objetivos são necessários para nortear escolhas entre intervenções alternativas. Os estudos de avaliação econômica fornecem informações sobre as intervenções com o equilíbrio mais favorável entre custos e efeitos na saúde (BRENT, 2003). Waters, Hyder e Phillips (2004) realizaram uma revisão da literatura para avaliar a disponibilidade de avaliações econômicas de seis tipos de intervenções para prevenir acidentes de trânsito, inclusive a instalação de OT, e a potencial aplicabilidade destas intervenções em países de renda baixa e média. Vinte e sete análises de intervenções atenderam aos requisitos de qualidade do estudo, e todos se referem a intervenções realizadas em países de renda alta, demonstrando a falta de avaliação econômica de intervenções para reduzir acidentes de trânsito em países de renda baixa e média.

É clara a falta de critérios bem definidos e cientificamente fundamentados para o uso de medidas de controle da velocidade de trânsito no Brasil. Esta pesquisa busca suprir parte desta lacuna e fornecer subsídios aos formuladores de políticas de trânsito e de saúde pública para que estes possam adotar medidas mais eficazes em reduzir o número e a gravidade dos acidentes de trânsito, menos custosas em termos da poluição do ar e da mobilidade urbana, e mais eficientes do ponto de vista econômico-financeiro.

Dado (i) o grande impacto econômico e social dos acidentes de trânsito no Brasil, (ii) a eficácia comprovada de medidas de controle de velocidade em reduzir acidentes de trânsito, (iii) o uso frequente de algumas dessas medidas no Brasil, (iv) a falta de estudos sobre o impacto econômico dessas medidas no Brasil e (v) a especificidade regional das ACB, este estudo aborda o seguinte problema de pesquisa: o uso de OT e REV como medida de segurança viária é custo-eficiente sob uma diversidade de condições de tráfego?

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste estudo é fazer uma avaliação econômica das intervenções de segurança viária OT e REV no Brasil tendo por referência os preços vigentes em jan. 2014.

Os objetivos específicos são: (1) desenvolver um método para avaliar o custo-benefício das intervenções de segurança viária OT e REV em trechos viários críticos para um conjunto de condições de tráfego definidas pelas variáveis velocidade de fluxo livre, volume de tráfego

e quantidade de acidentes; (2) avaliar sob quais condições de velocidade de fluxo livre, volume de tráfego e quantidade de acidentes a intervenção de segurança viária OT de tipo I é custo-eficiente; (3) avaliar sob quais condições a intervenção de segurança viária OT de tipo II é custo-eficiente; (4) avaliar sob quais condições a intervenção de segurança viária REV é custo-eficiente; (5) avaliar sob quais condições a substituição de uma OT, de tipo I ou II, por um REV é custo-eficiente; (6) verificar, por meio de uma análise de sensibilidade, como alterações nos parâmetros influenciam os resultados obtidos.

2 ONDULAÇÕES TRANSVERSAIS E REDUTORES ELETRÔNICOS DE VELOCIDADE

2.1 Definição

As OT, também chamadas de lombadas e quebra-molas, são obstáculos de forma ondulada que são colocados sobre a via de trânsito para obrigar os motoristas a reduzirem a velocidade de seus veículos. No Brasil, são regulamentados dois tipos de OT, doravante denominados OT-I e OT-II, com as dimensões apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Dimensões das ondulações transversais

| Tipo | Largura | Comprimento (m) | Altura (cm) |
|------|------------------|-----------------|-------------|
| I | Igual à da pista | 1,50 | Até 8 |
| II | Igual à da pista | 3,70 | Até 10 |

Fonte: DENATRAN (2008).

Os REV, também chamados de lombadas eletrônicas, são a combinação de sensores de velocidade, painéis eletrônicos indicadores de velocidade e aparelhos fotográficos, sendo colocados nas laterais ou por cima da via de trânsito para incentivar o motorista a reduzir a velocidade em determinado local, sob pena de multa. A Figura 1 ilustra os principais tipos de REV em uso no Brasil.

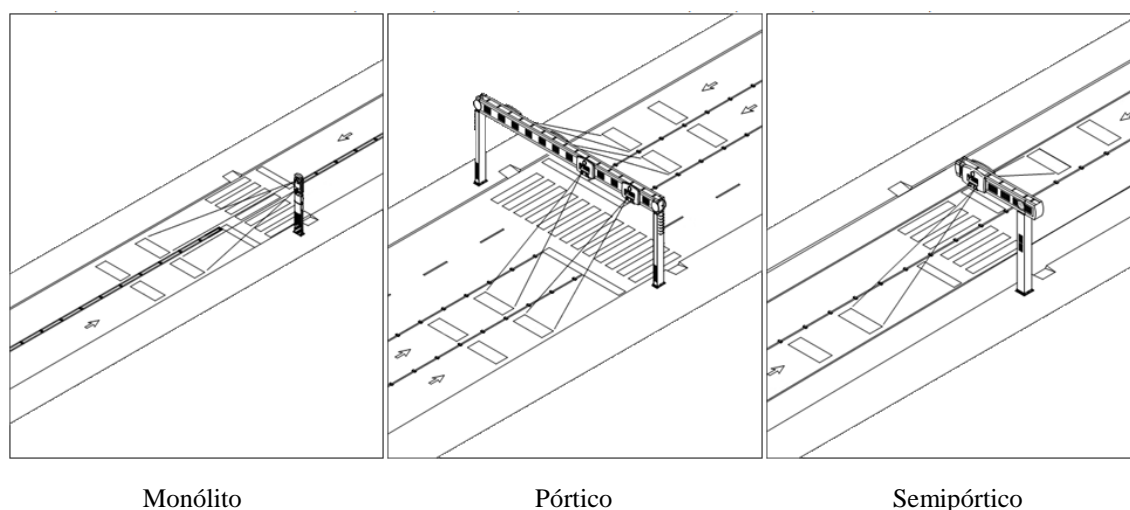


Figura 1 – Tipos de redutores eletrônicos de velocidade

Fonte: www.perkons.com.br.

Tanto as OT quanto os REV possuem o propósito de reduzir a velocidade do tráfego em locais com elevada incidência de acidentes ou com dano potencial elevado em caso de acidente. Ambas as medidas possuem efeito pontual, isto é, reduzem a velocidade do tráfego em uma seção relativamente curta da via de tráfego (em torno de 100 a 300 m). No entanto, enquanto as OT forçam o motorista a reduzir a velocidade, sob pena de desconforto físico, danos ao veículo e aumento do risco de acidente, os REV impõem multas pecuniárias e outras restrições legais para trafegar para o motorista que superar a velocidade permitida em determinado local. Os REV foram desenvolvidos em consequência da percepção dos vários efeitos colaterais indesejáveis das OT, e representam uma melhoria técnica em relação às OT. Por outro lado, o custo de implementação dos REV é muito maior que o das OT.

Além das OT e dos REV existe uma gama de outras medidas de controle de velocidade, como radares fixos ou móveis, policiamento, chicanes, ilhas de trânsito, sinalização horizontal e vertical, sonorizadores e rotatórias. O que diferencia as OT e os REV destas outras medidas é o seu efeito pontual sobre a velocidade de tráfego, a sua eficácia em reduzir acidentes de trânsito e o seu uso bastante difundido no Brasil. As OT são classificadas como alterações verticais da via, grupo em que também se enquadram almofadas antivelocidade e travessias elevadas, mas são de longe a medida mais adotada no Brasil em seu grupo de medidas. Os REV, por sua vez, são classificados como dispositivos de fiscalização eletrônica, tal como radares fixos e móveis, mas se diferenciam destes por seu caráter ostensivo e por terem sido desenvolvidos para substituir as OT.

As OT provavelmente são, isoladamente, a medida de controle de velocidade que existe em maior quantidade no Brasil (TEODORO et al., 2012). Isto se justifica principalmente pela sua elevada eficácia em reduzir a velocidade, o número e a gravidade dos acidentes em seções curtas de via, pelo seu baixo custo de implementação em relação a medidas alternativas, e pela facilidade com que são construídas, não requerendo pessoal de elevada qualificação nem materiais incomuns. Além disso, especula-se que a difusão de seu uso também esteja relacionada à falta de capacitação técnica e financeira de muitos órgãos de trânsito no Brasil, em especial nos municípios de menor porte.

Os REV foram desenvolvidos especificamente para eliminar ou abrandar vários dos efeitos colaterais indesejáveis das OT, representando, portanto, uma melhoria técnica em relação às OT. Este é um dos motivos pelos quais o uso de REV se difundiu, pois representa uma alternativa tecnicamente superior à medida de controle de velocidade mais utilizada no país. Contudo, especula-se que um outro motivo sejam os acordos ilícitos empreendidos entre os fabricantes destes equipamentos e representantes do poder público.

O uso de REV elimina ou abranda vários dos efeitos colaterais indesejáveis das OT, tais como a penalização indiscriminada de bons e maus motoristas, bem como de pessoas com necessidades especiais, o maior consumo de combustível e maior emissão de gases poluentes, a depreciação acelerada do veículo e o aumento do tempo de resposta de veículos de emergência. Além disso, as OT, se mal projetadas e implantadas, podem causar danos aos veículos, comprometer o desempenho do tráfego e causar acidentes adicionais (ALENCAR; FREITAS, 2004).

Além disso, o uso de REV pode facilitar o controle de tráfego por meio da geração de dados sobre o volume de tráfego ou a classificação volumétrica, por exemplo, os quais podem ser usados no apoio à gestão do trânsito local. De acordo com Brandão (2011), os REV podem ser usados em todos os tipos de via (rodovia, expressa, arterial, coletora, local) e em diversos cenários de risco. Em especial, em áreas com restrição de visibilidade e conflito entre pedestres e veículos, e em locais que necessitem de fiscalização permanente para assegurar a circulação de veículos dentro do limite máximo de velocidade regulamentado.

A imprensa brasileira noticia recorrentemente ocorrências relativas ao uso de OT ou REV. A partir de uma pesquisa exploratória na Internet⁷, foram identificados os seguintes resultados empíricos do uso de OT e REV que merecem nota:

- Como não há uma periodicidade para a manutenção da sinalização horizontal (pintura), há OT que estão com a sinalização horizontal desgastada (AMÂNCIO, 2013). Também há OT cuja sinalização vertical está desgastada ou oculta pela vegetação (MOTORISTAS..., 2013a). Além de mal sinalizadas, há OT que são instaladas em locais inadequados (LOMBADA..., 2010).
- OT mal sinalizadas ou instaladas em locais impróprios causam acidentes de trânsito (LOMBADA..., 2010; MOTORISTAS..., 2013c), inclusive com vítimas fatais (JOVEM..., 2012). Há casos de acidentes envolvendo motos (JOVEM..., 2012), carros (LOMBADA..., 2010) e ônibus de transporte coletivo (CAETANO, 2013).
- Pessoas que residem perto de trechos viários críticos constroem ilegalmente OT fora dos padrões do CONTRAN (SMTT..., 2013; MICHEL, 2013). Estas OT ilegais, muitas vezes sem sinalização adequada, com medidas inadequadas e construídas em locais impróprios, também causam acidentes (MOTORISTAS..., 2013b).

⁷ A pesquisa exploratória foi efetuada, em 2013, pela busca de palavras-chave em mecanismo geral de busca (Google: www.google.com.br), em mecanismo de busca que agrega notícias de diversas fontes (Google Notícias: news.google.com.br) e em três jornais que oferecem o seu arquivo digital (Estadão: acervo.estadao.com.br; O Globo: acervo.oglobo.globo.com; Folha de São Paulo: acervo.folha.com.br).

- Não apenas as OT construídas por pessoas não autorizadas estão fora dos padrões legais. O mesmo ocorre com boa parte das OT construídas por órgãos de trânsito regulamentares ou por empresas legalmente contratadas para este serviço (FRANZON, 2011; ITALIANI, 2012).
- Há registro de panes mecânicas em veículos que passaram por OT (FUCCIA, 2013).
- Pessoas que sofreram acidente devido a OT mal sinalizadas podem receber indenização do ente público responsável (MEDEIROS, 2012; ROVER, 2014).
- Pessoas que sofreram acidente devido à passagem em alta velocidade de um ônibus de transporte coletivo sobre uma OT podem receber indenização pelos danos causados (PASSAGEIRA..., 2013; CAETANO, 2013). O mesmo pode ocorrer no caso de REV (MULHER..., 2009).
- Há indícios de corrupção na licitação de contratos de instalação e manutenção de REV que envolvem a instalação de equipamentos em locais indevidos, a não realização de estudos técnicos, editais de licitação viciados em favor de determinada empresa e o repasse de valores arrecadados com multas aos vendedores dos equipamentos, o que é considerado ilegal no Brasil (GRIZOTTI, 2011; KREMER, 2012; MPRS, 2013; VIEIRA, 2003).

Há também grupos de interesse específicos que argumentam contra o uso das OT, como é o caso, por exemplo, de associações de motoristas, de associações de deficientes físicos e de serviços de emergência (principalmente ambulâncias, bombeiros e polícia). Entretanto, nenhum dos três grupos citados influencia substancialmente a dinâmica de uso de OT no Brasil.

A busca no mecanismo de busca Google, em 2013, por termos em inglês relacionados a OT (“speed hump”, “road hump”, “speed bump”, “road bump”) revelou os seguintes movimentos estrangeiros: Citizens Rebelling Against Speed Humps (www.joincrash.com), The Alliance of British Drivers (www.abd.org.uk/topics/speed_humps.htm), Bromley Borough Roads Action Group (www.bromleytransport.org.uk/Humps.htm), National Motorists Association (www.motorists.org/traffic-calming/), Calming Risk (www.calmingrisk.com), Road Access for Disabled Americans (www.digitalthreads.com/rada/), SpeedLIMIT (www.speedlimit.org.uk/hump.html), Campaign Against Road-Hump Madness (www.users.globalnet.co.uk/~cavok/hump.html), Wyrley Residents Against The Humps (www.greatwyrley.org.uk), SeeRed (www.seered.co.uk/roadhumps.htm), Seminole Majority Against Speed Humps (www.speedbumps.50megs.com) e Warranty Direct (www.warrantydirect.co.uk/press_releases.html).

Essas organizações citam diversos efeitos indesejáveis que as OT teriam. Apresenta-se, a seguir, uma tentativa de resumir os pontos levantados pelo conjunto destas organizações:

- Causam danos aos veículos, não somente pela depreciação acelerada do veículo (principalmente da suspensão), mas também pelo seu desenho inadequado a carros esportivos ou rebaixados;
- Atrasam serviços de emergência em até dez segundos, com todas as consequências que isto pode ter, especialmente no caso de veículos de ambulância;
- Aumentam o uso de combustível e geram poluição ambiental pela redução da velocidade e pelo aumento da aceleração;
- Geram poluição sonora devido ao processo de frenagem e aceleração dos veículos e pelo movimento de cargas em caminhões ou outros veículos de grande porte;
- Causam desconforto e lesões cervicais aos ocupantes de veículos, especialmente a pessoas já lesionadas (por osteoporose ou acidente, por exemplo) e a idosos;
- Discriminam pessoas com deficiências severas, idosos frágeis e pessoas com problemas sérios nas costas ou no pescoço;
- Discriminam ocupantes de veículos em relação a residentes;
- Geram vibrações que se propagam pelo solo e podem danificar construções lindeiras;
- Causam perturbação visual de noite, devido ao movimento giratório vertical dos veículos, ofuscando motoristas, causando a ilusão de que fora emitido um sinal luminoso pelo veículo que passou a OT e aborrecendo residentes ao atingir janelas de residências lindeiras;
- Causam acidentes quando ultrapassados acima da velocidade permitida por veículos particulares ou de transporte coletivo, pondo em risco inclusive pedestres e ciclistas;
- Causam a desvalorização dos imóveis lindeiros devido aos demais inconvenientes que causam;
- Elevam os custos de manutenção da via, pelo cuidado especial que requerem no recapeamento da via e pela dificuldade adicional que geram para alguns veículos de limpeza das vias públicas.

Apesar dos problemas associados às OT, em geral, a população aprova o uso de OT e REV para reduzir o número e a gravidade dos acidentes de trânsito. Há muitos casos de pessoas residentes na proximidade de trechos viários críticos que se organizam para exigir da autoridade local de trânsito a instalação de uma OT ou de um REV em determinado local que a população considere possuir alto risco de acidente.

2.2 Legislação

2.2.1 Ondulações transversais

O reconhecimento de alguns dos efeitos colaterais indesejáveis das OT pelas autoridades de trânsito no Brasil levou a uma regulamentação mais severa pelo Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), formalizada pela Resolução 39, de 21/5/1998, a qual substituiu a Resolução 635, de 7/12/1984. De acordo com a norma vigente, as OT podem ser “colocadas após estudo de outras alternativas de engenharia de tráfego, quando estas possibilidades se mostrarem ineficazes para a redução de velocidade e acidentes” (DENATRAN, 2008, p. 232).

A lei prevê dois tipos de OT. O primeiro tipo, doravante denominado OT-I, com 1,50 m de comprimento e até 8 cm de altura, só pode ser instalado em vias locais⁸ onde há necessidade de restringir-se a velocidade a 20 km/h e onde não circulem linhas regulares de transporte coletivo. O segundo tipo, doravante denominado OT-II, com 3,70 m de comprimento e até 10 cm de altura, só pode ser instalado em segmentos de vias rurais (rodovias) que atravessam aglomerados urbanos com edificações lindeiras, em vias coletoras, e em vias locais onde há necessidade de restringir-se a velocidade a 30 km/h.

Além destas restrições, a lei ainda impõe uma série de outras restrições ao uso indiscriminado de lombadas em vias de trânsito, como sinalização adequada, monitoramento do desempenho, índice de acidentes significativo, declividade reduzida, ausência de curvas ou interferências visuais, reduzido volume de tráfego, e pavimento em bom estado de conservação.

De acordo com o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), “é proibida a utilização das ondulações transversais e de sonorizadores como redutores de velocidade, salvo em casos especiais definidos pelo órgão ou entidade competente, nos padrões e critérios estabelecidos pelo CONTRAN” (DENATRAN, 2008, p. 29). De acordo com o § 3º do art. 95 deste código, a colocação de lombadas sem permissão prévia do órgão ou entidade de trânsito com circunscrição sobre a via implica em aplicação de multa que varia entre 50 e 300 Unidades de Referência Fiscal (UFIR), e multa diária na base de 50% do dia de vencimento ou remuneração devida do servidor público enquanto permanecer a irregularidade.

⁸ O Código de Trânsito Brasileiro (CTB) classifica as vias em urbanas (trânsito rápido, arterial, coletora, local) e rurais (rodovias, estradas). Na ausência de sinalização regulamentadora, a velocidade máxima permitida é de 30 km/h nas vias locais, de 40 km/h nas vias coletoras, de 60 km/h nas vias arteriais, de 80 km/h nas vias de trânsito rápido e de 60 km/h nas estradas. No caso das rodovias, a velocidade máxima permitida é de 110 km/h para automóveis, camionetas e motocicletas, de 90 km/h para ônibus e microônibus e de 80 km/h para os demais veículos. O órgão de trânsito com circunscrição sobre a via pode regulamentar, por meio de sinalização, velocidades superiores ou inferiores às velocidades mencionadas.

Apesar de a regulamentação do Contran estabelecer uma série de restrições ao uso indiscriminado de OT para o controle de velocidade, a lei abre uma brecha ao uso das OT com a ampliação da esfera de competência dos órgãos municipais no tratamento das questões de trânsito. O art. 24 do CTB (Lei 9.503, de 23/9/1997) dá aos órgãos executivos municipais de trânsito a competência por 21 atribuições, entre as quais estão “planejar, projetar, regulamentar e operar o trânsito [...]”, “implantar, manter e operar o sistema de sinalização, os dispositivos e os equipamentos de controle viário”, “coletar dados estatísticos e elaborar estudos sobre os acidentes de trânsito e suas causas” e “cumprir e fazer cumprir a legislação e as normas de trânsito, no âmbito de suas atribuições” (DENATRAN, 2008, p. 23).

No que diz respeito aos efeitos indesejáveis das lombadas, ainda compete aos órgãos de trânsito municipais “planejar e implantar medidas para redução da circulação de veículos e reorientação do tráfego, com o objetivo de diminuir a emissão global de poluentes”, bem como “fiscalizar o nível de emissão de poluentes e ruído produzidos pelos veículos automotores ou pela sua carga, de acordo com o estabelecido no art. 66, além de dar apoio às ações específicas de órgão ambiental local, quando solicitado” (DENATRAN, 2008, p. 23–24).

Assim, uma vez preenchidos os requisitos para integração do município ao Sistema Nacional de Trânsito (SNT), a prefeitura passa a desempenhar tarefas de sinalização, fiscalização, aplicação de penalidades e educação de trânsito. Até 18/8/2014, 1.435 municípios (i.e. 25,8% do total de 5.570 municípios) haviam se integrado ao SNT (DENATRAN, 2014).

Um potencial motivo para o número ainda baixo de municípios integrados é o fato de o CTB (art. 333, § 1º) estabelecer um prazo (de um ano) de adequação às normas apenas para os órgãos e entidades de trânsito já existentes. Nada afirma sobre o prazo de adequação às normas dos órgãos e entidades de trânsito a serem criados. Desta forma, o art. 334 do referido código — “As ondulações transversais existentes deverão ser homologadas pelo órgão ou entidade competente no prazo de um ano, a partir da publicação deste Código, devendo ser retiradas em caso contrário.” (DENATRAN, 2008, p. 54) — atribui a responsabilidade pela homologação e retirada das OT irregulares a entidades municipais ou estaduais, dependendo da existência de órgãos municipais integrados. Como 74,2% dos municípios continua não integrada ao SNT, em geral, a atribuição recai sobre os órgãos estaduais (ou do Distrito Federal). Como o CTB foi publicado em 24/9/1997, as OT irregulares deveriam ter sido removidas até 24/9/1998.

2.2.2 Legislação sobre redutores eletrônicos de velocidade

Os REV começaram a ser regulados pelo Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) a partir da Decisão nº 14, de 6/9/1994, e são regulados atualmente (maio de 2013) pela Resolução 396, de 13/12/2011, a qual foi retificada em 16/1/2012. A Resolução 396/2011 “dispõe sobre requisitos técnicos mínimos para a fiscalização da velocidade de veículos automotores, reboques e semirreboques, conforme o Código de Trânsito Brasileiro” (CONTRAN, 2011), reconhecendo a necessidade de padronizar a fiscalização eletrônica de velocidade e a importância desta para reduzir o número e a gravidade dos acidentes de trânsito.

A lei autoriza quatro tipos de equipamentos para a fiscalização eletrônica de velocidade (fixo, estático, móvel, portátil) e distingue entre medidor de velocidade, controlador eletrônico de velocidade e REV. Este último é definido como “medidor de velocidade, do tipo fixo, com dispositivo registrador de imagem, destinado a fiscalizar a redução pontual de velocidade em trechos considerados críticos, cujo limite é diferenciado do limite máximo regulamentado para a via ou trecho em um ponto específico indicado por meio de sinalização (placa R-19)” e deve “ser dotado de dispositivo (**display**) que mostre aos condutores a velocidade medida” (CONTRAN, 2011, grifo do autor).

Os REV devem ter seu modelo aprovado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e ser submetidos à verificação metrológica com periodicidade máxima de 12 meses.

A localização, a sinalização, a instalação e a operação dos REV cabe à autoridade de trânsito com circunscrição sobre a via, a qual deve realizar um estudo técnico que comprove a necessidade de controle ou redução do limite de velocidade no local e que garanta a visibilidade do equipamento. Este estudo deve contemplar, no mínimo, a classificação viária, o número de pistas e de faixas de trânsito, a geometria da via, se o trecho é urbano ou não, o volume médio diário de veículos na pista a ser fiscalizada, a existência de trânsito de pedestres ou de ciclistas na via, a velocidade regulamentada e praticada no local, o número de acidentes num trecho de no máximo 500 m antes e depois do local, fatores de risco, outras medidas de engenharia que foram adotadas anteriormente no local, o croqui do local e a identificação dos responsáveis pelo estudo técnico e pela via em estudo.

Além do estudo anterior à instalação do REV, a autoridade de trânsito é obrigada a realizar, com periodicidade máxima de 12 meses e sempre que ocorrerem alterações nas variáveis constantes no estudo prévio, novos estudos técnicos que meçam a eficácia dos REV, no mínimo, as mesmas variáveis do estudo prévio. Quando estes estudos periódicos

constatarem um índice de acidentes elevado ou não comprovarem uma redução significativa do mesmo índice, recomenda-se a adoção complementar de outros procedimentos de engenharia no local.

Todos os estudos técnicos, isto é, tanto o estudo prévio quanto os estudos periódicos, devem estar disponíveis ao público na sede do órgão ou entidade de trânsito com circunscrição sobre a via, bem como serem encaminhados às Juntas Administrativas de Recursos de Infrações (JARI) dos respectivos órgãos ou entidades, ao órgão máximo executivo de trânsito da União e aos Conselhos Estaduais de Trânsito (CETTRAN) ou ao Conselho de Trânsito do Distrito Federal (CONTRADIFE), quando por eles solicitados.

Quando um REV é instalado em determinado local, outros equipamentos eletrônicos de fiscalização somente poderão ser utilizados a uma distância mínima daquele equipamento de 500 m em vias urbanas (ou trechos de vias rurais com características de via urbana) e de 2 km em vias rurais e vias de trânsito rápido.

Foi dado o prazo de 180 dias às autoridades de trânsito, a partir da publicação da Resolução 396 (isto é, a partir de 22/12/2011), para dotar os REV de “display” que mostre aos condutores a velocidade medida e para a disponibilização dos estudos técnicos ao público na sede do órgão, às JARI e aos conselhos de trânsito da União, dos Estados e do Distrito Federal. Este prazo correspondia a 19/6/2012.

Os REV novos implantados a partir de 1º/1/2013 devem registrar a contagem volumétrica de tráfego e conter a data da verificação metrológica periódica, além da placa do veículo infrator, da sua velocidade em km/h, da data e hora da infração, da velocidade regulamentada para o local em km/h, do local da infração e da identificação do equipamento utilizado conforme numeração estabelecida pelo órgão de trânsito com circunscrição sobre a via.

2.2.3 Considerações sobre a legislação

A leitura da lei permite conjecturar alguns problemas. Além da atribuição de responsabilidade ambígua e ineficaz pela instalação, manutenção, sinalização e retirada das OT, o que se observa é um uso irregular e excessivo de lombadas em grande número de cidades do país, inclusive em municípios integrados ao SNT e com órgãos de trânsito mais capacitados. Na prática, a instalação de OT é realizada por órgãos municipais, mesmo quando não competentes, aparentemente sem (quase) nenhuma fiscalização por parte dos órgãos estaduais.

Se não fosse assim, não haveria tantas OT em desconformidade com a legislação, tanto em municípios integrados ao SNT quanto em municípios não integrados ao mesmo.

É interessante notar que a atual situação das OT no país infringe a lei de várias maneiras:

- Órgãos de trânsito municipais instalam, sinalizam, mantêm e removem OT mesmo quando não possuem competência para tal.
- Órgãos de trânsito estaduais se esquivam de sua competência, quando existente, quanto à instalação, sinalização, manutenção, remoção e fiscalização das OT (CANNELL; GOLD, 2001).
- Estudos de alternativas de engenharia de trânsito em locais com alto índice de acidentes são raros, enquanto a lei exige a realização destes estudos antes da instalação de toda OT.
- O uso das OT como instrumento de controle da velocidade no trânsito está longe de ocorrer somente em “casos especiais” (DENATRAN, 2008, p. 29) e “após estudo de outras alternativas de engenharia de tráfego” (DENATRAN, 2008, p. 232).
- Enquanto a lei previa a homologação das OT ou a sua remoção, se irregulares, até 27/9/1998, continua existindo, em 2011, uma grande quantidade de OT no país, das quais muitas em situação irregular.
- A regulamentação do CTB sobre a redução da emissão de poluentes e de ruído pelos veículos automotores não obteve êxito no que diz respeito à redução do número de OT e ao aumento do uso de outros instrumentos de redução de velocidade e de acidentes.
- A irregularidade de muitas OT é extremamente grave e inclui falta de sinalização, sinalização inadequada, falta de manutenção da sinalização, medidas físicas (altura, largura e comprimento) inadequadas das OT, instalação em locais inapropriados (curvas, interferências visuais, declividades acentuadas, elevado volume de tráfego), falta de conservação do pavimento subjacente.
- A continuidade de existência de uma grande quantidade de OT irregulares evidencia a falta de fiscalização e aplicação de multas aos responsáveis pela instalação e remoção das OT irregulares.

Quanto aos REV, observe-se que, apesar de o seu uso ter se iniciado em meados da década de 1990, somente a partir de 22/12/2011 estudos técnicos que justifiquem o seu uso precisam ser divulgados publicamente. Além disso, como dito anteriormente, há indícios de corrupção na licitação de contratos de instalação e manutenção dos equipamentos REV, que envolvem a instalação de equipamentos em locais indevidos, a não realização de estudos técnicos, editais de licitação viciados em favor de determinada empresa e o repasse de valores arrecadados com

multas aos vendedores dos equipamentos (GRIZOTTI, 2011; KREMER, 2012; MPRS, 2013; VIEIRA, 2003).

Outro aspecto relevante é função, a hierarquia e a classificação das vias. De acordo com Brandão (2011), os órgãos executivos de trânsito do Brasil pouco se ocupam da hierarquia e classificação das vias com clareza, e relegam ao Legislativo Municipal e ao mercado imobiliário a seleção da localização de polos geradores de tráfego e novas ligações viárias. Seria comum, por exemplo, uma via local, logo após sua construção, servir de ligação para importantes polos de atração de viagens. Consequentemente, o uso das vias muitas vezes seria incompatível com as características das vias e com a segurança de tráfego. Segundo a autora, mesmo quando os órgãos de planejamento urbano mantêm diretrizes para a expansão da cidade, estas, por si só, não seriam suficientes para restringir o uso do solo e definir a função das vias públicas. Seria preciso lançar mão de medidas legais e técnicas que disciplinassem as mudanças de uso ou implantação de novas edificações, e que coibissem a atuação casuística do Legislativo em alterar a legislação urbana em vigor.

2.3 Grupos de interesse

A partir do exposto nas seções anteriores, identificam-se os seguintes grupos de interesse que influenciam o uso de OT e REV como medidas redutoras da velocidade no trânsito.

- 1) Pessoas que residem perto de trechos viários críticos e se sentem prejudicados pela falta de segurança causada pelo excesso de velocidade do trânsito. Em algumas cidades, estas pessoas podem requerer a colocação de OT por meio de um abaixo-assinado com assinatura de pelo menos 70% dos proprietários ou inquilinos dos imóveis instalados na quadra em que for solicitada a implantação da OT (MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 2012).
- 2) Motoristas que se sentem prejudicados pelo desconforto causado pelas OT, mas que não sofreram danos físicos ou materiais em função das OT.
- 3) Motoristas ou passageiros (tanto de veículos particulares quanto de veículos de transporte público) que sofreram danos físicos ou materiais ao passarem sobre OT, seja por causa da falta de sinalização adequada ou de dimensões fora do padrão permitido.
- 4) Pedestres que se sentem prejudicados pela falta de segurança na travessia de vias de trânsito, mas que não residem perto de trechos viários críticos.
- 5) Órgãos de trânsito, inclusive os seus técnicos, que são legalmente responsáveis pela implementação das OT e dos REV.

- 6) Organizações da sociedade civil que possuem como um de seus objetivos a redução do número e da gravidade dos acidentes de trânsito.
- 7) Empresas responsáveis pela implementação de OT e REV, as quais geralmente são contratadas por meio de processos licitatórios.

Dentre estes agentes, é possível distinguir entre agentes passivos (grupos 2, 4 e 6) e ativos (grupos 1, 3, 5 e 7), sendo estes últimos mais influentes na dinâmica de uso das OT. Por exemplo: muitas OT são implementadas a partir de abaixo-assinados realizados pelo grupo 1; indivíduos do grupo 3 frequentemente iniciam processos judiciais contra o grupo 5 ou contra companhias de ônibus; o grupo 5 realiza estudos técnicos para a implementação de OT ou REV ou contrata este serviço junto ao grupo 7; o grupo 7 implementa a maioria das OT e dos REV, e influencia (inclusive por meios ilegais) a quantidade de dispositivos implementados, os locais apropriados, o custo dos equipamentos e o destino dos recursos arrecadados com as multas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Segurança viária

De acordo com Ferraz et al. (2012), o indicador mais adequado para medir a segurança no trânsito é o índice de mortes por bilhão de quilômetros percorridos pela frota de veículos rodoviários (IMBQ). De acordo com o IMBQ, o Brasil apresenta uma mortalidade no trânsito sete a doze vezes maior que os países mais desenvolvidos (FERRAZ et al., 2012).

Este dado é reflexo da influência que o nível de desenvolvimento econômico e social exerce sobre a segurança de trânsito. Segundo Ferraz et al. (2012), contribuem para a falta de segurança viária nos países menos desenvolvidos a preponderância de vias mal projetadas e sem conservação adequada, veículos velhos e sem manutenção, legislação inapropriada, fiscalização incipiente, grande utilização de motocicletas e veículos assemelhados, atendimento médico precário das vítimas, condutores imprudentes em razão da falta de cultura de segurança no trânsito, do baixo conhecimento e respeito às leis e regras de trânsito por parte da população e do treinamento precário de condutores e pedestres.

Se, por um lado, a alta acidentalidade no trânsito é uma característica de países pouco desenvolvidos – e, portanto, de difícil superação – por outro lado, a experiência dos países desenvolvidos mostra que há uma variedade de medidas de intervenção cujo uso adequado pode reduzir significativamente a acidentalidade no trânsito.

De acordo com Ferraz et al. (2012), a implementação das intervenções de segurança viária deve ser feita por um órgão estatal específico, a partir da análise científica de bancos de dados de acidentes e da identificação de fatores de risco. Contudo, como a segurança viária é um problema multidisciplinar, uma adequada política de segurança viária exige a participação de profissionais de diversos setores, como engenharia, saúde, educação, polícia, Ministério Público, mídia, centros de pesquisa, fabricantes de veículos, transportadores, organizações não governamentais (ONG) etc.

Conceitualmente, um acidente de trânsito é um evento que envolve um ou mais veículos, motorizados ou não, em movimento por uma via, que provoca ferimentos em pessoas ou danos em veículos ou em outros elementos, como postes, edificações e sinais de trânsito. Uma definição mais ampla inclui qualquer evento ocorrido em uma via em função do trânsito de veículos e pedestres que resulte em danos materiais ou lesões em pessoas. Uma morte é atribuída a um acidente de trânsito quando a vítima morre no período de até 30 dias após o acidente em decorrência das lesões sofridas (FERRAZ et al., 2012).

No Brasil, os acidentes de trânsito são classificados pela Polícia Militar quanto à gravidade do acidente em acidente sem vítimas, acidente com vítimas não fatais (feridos) e acidente com vítimas fatais. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por sua vez, recomenda uma classificação focada no estado físico das vítimas. De acordo com esta classificação, dever-se-ia diferenciar entre lesões fatais, lesões graves (exigem tratamento médico prolongado, como ferimentos cranianos, fraturas, cortes profundos e lacerações de grande extensão), lesões leves (não exigem tratamento médico prolongado), ilesos (não há ferimento aparente, nem sintomas ou queixas de lesões internas). Em ambas as classificações, as vítimas fatais são contabilizadas somente se vierem a falecer em razão dos ferimentos recebidos no local do acidente ou no período até a conclusão do boletim de ocorrência. Por isso, para obter o número total de vítimas fatais em acidentes de trânsito no Brasil, é preciso recorrer ao banco de dados do sistema de saúde pública, o qual também inclui as vítimas que faleceram após a finalização do boletim de ocorrência em decorrência de acidente de trânsito.

De acordo com Ferraz et al. (2012), o trânsito pode ser descrito como um sistema constituído de três elementos: ser humano; veículo; via ou meio-ambiente. Como os acidentes de trânsito são causados por falhas na interação entre estes elementos, uma política adequada de segurança viária envolve intervenções que afetem cada um desses elementos antes, durante e após a ocorrência de acidentes, de modo que se reduza a exposição ao risco, a quantidade e a severidade dos acidentes, e os danos às vítimas.

Em geral, não há uma única causa para um acidente, e sim uma convergência de fatores de risco determinantes (que contribuem diretamente para a sua ocorrência) e não determinantes (que contribuem indiretamente). Enquanto os fatores associados à exposição ao trânsito e à legislação e fiscalização são tipicamente não determinantes, diversos fatores associados aos componentes físicos do sistema de trânsito são determinantes, isto é, estão diretamente relacionados com o acidente.

O excesso de velocidade no trânsito é um dos fatores de risco que mais contribuem para a ocorrência de acidentes, óbitos e lesões corporais no trânsito e é um fator agravante em todos os acidentes de trânsito. Estudos sugerem que um terço dos acidentes de trânsito fatais envolva o excesso de velocidade (GRSP, 2008). Trafegar a velocidades mais altas aumenta o risco de acidentes porque diminui a percepção de acontecimentos complexos, diminui o tempo disponível para manobras evasivas, facilita a perda de controle do veículo e aumenta a distância de frenagem (FERRAZ et al., 2012). Além disso, elevadas velocidade de tráfego também elevam significativamente a gravidade dos acidentes. Quando veículos desenvolvem velocidades anormais também aumenta o risco de acidentes devido à frustração das expectativas

dos demais motoristas. Por fim, o tráfego em velocidade elevada potencializa outros fatores de risco, tais como a falta de habilidade, desvio de atenção, consumo de entorpecentes, cansaço e sonolência, conduta perigosa, visibilidade precária, defeitos na superfície de rolamento, projeto geométrico inadequado.

Segundo Ferraz et al. (2012), a gravidade das lesões das vítimas de colisões e choques no trânsito depende principalmente da velocidade de impacto e do nível de proteção oferecido pelo veículo e pelo equipamento de segurança. Por isso, o risco relativo de sofrer lesão no trânsito é maior para ocupantes de motocicletas ou motonetas, seguido de ciclistas, pedestres, ocupantes de carro e ocupantes de ônibus (ELVIK et al., 2009). No Brasil, o risco de uma pessoa ser ferida é quinze vezes superior em viagens urbanas de motocicleta do que em viagens urbanas de carro, e o risco de uma pessoa morrer é 28 vezes superior no caso de viagens urbanas de motocicleta (FERRAZ et al., 2012).

De acordo com Ferraz et al. (2012), dentre as intervenções que reduzem a ocorrência e a severidade dos acidentes de trânsito há medidas de engenharia (viária, de tráfego, automotiva ou eletrônica), de educação, de esforço legal, de engajamento, de ambiente, e de avaliação. A engenharia de tráfego (ou de trânsito) trata, principalmente, do sistema de circulação e estacionamento, da sinalização de trânsito e da gestão da segurança no trânsito. Medidas redutoras da velocidade e dispositivos de fiscalização eletrônica são classificados como medidas de engenharia de tráfego.

O objetivo da engenharia de tráfego é fazer com que o deslocamento dos usuários da via seja realizado com segurança, rapidez, fluidez e comodidade. Além disso, as intervenções de segurança viária devem, tanto quanto possível, ser baratas, integrar-se de forma esteticamente harmônica com a paisagem e não degradar o meio ambiente natural ou construído (FERRAZ et al., 2012).

Segundo Ferraz et al. (2012), como a probabilidade do envolvimento em acidentes é relativamente pequena, o desejo de mobilidade das pessoas prepondera sobre o desejo de segurança. Por isso, há maior resistência por parte da população a intervenções de segurança viária que tenham um impacto negativo sobre a mobilidade, tal como ocorre com as medidas redutoras de velocidade.

Do ponto de vista ético, no entanto, é possível argumentar a favor da preponderância da vida e saúde humanas sobre a mobilidade e a acessibilidade no trânsito. Esta abordagem é seguida explicitamente no programa Visão Zero, uma política de segurança viária muito bem sucedida que é posta em prática na Suécia desde 1997 (FERRAZ et al., 2012).

3.2 Análise custo-benefício

Geralmente, distingue-se entre quatro tipos de avaliação econômica: análise de minimização de custo, análise custo-efetividade, análise custo-benefício (ACB) e análise custo-utilidade (BRENT, 2003). Dentre esses tipos, a ACB seria a “mais desejável” forma de análise de impacto regulatório, mas não é utilizada em muitos países devido à dificuldade em mensurar monetariamente uma ampla gama de custos e benefícios (TOROYAN, 2009). A ACB é aplicada a medidas de segurança de trânsito pelo menos desde meados da década de 1970 (ELVIK, 2001c), mas em muitos lugares ainda não é utilizada de forma sistemática para a avaliação das medidas de segurança viária (ELVIK; VEISTEN, 2005).

De acordo com Zerbe e Bellas (2006), a questão básica da ACB é descobrir se um projeto melhora o bem-estar das pessoas ou não. No caso mais geral, o efeito de um projeto sobre o bem-estar de uma pessoa depende de seu efeito sobre o preço (ou a qualidade) dos insumos e da distribuição inicial dos direitos de propriedade (ou “status quo”). No caso de o indivíduo possuir um direito pré-existente sobre o insumo, a sua disposição a receber (DAR) mede o quanto ele precisaria receber, antes do projeto ocorrer, para ser compensado pelo projeto e o seu efeito sobre o preço (ou a qualidade) do insumo. Por outro lado, caso o indivíduo não possua um direito pré-existente sobre o insumo, a sua disposição a pagar (DAP) mede o quanto ele estaria disposto a pagar, após o projeto, para manter o projeto e o seu efeito sobre o preço (ou a qualidade) do insumo. Em geral, o valor de um insumo medido pela DAP é inferior ao seu valor medido pela DAR; somente quando o preço (ou a qualidade) do insumo não variar, ambas serão idênticas e iguais ao preço de mercado (ZERBE; BELLAS, 2006).

No caso de medidas redutoras de velocidade, os insumos são, por exemplo, a segurança dos usuários da via, o tempo dos motoristas e o ar respirado pelos residentes. Os impactos de projetos de segurança viária são, em geral, avaliados por alterações qualitativas nos insumos em vez de alterações nos seus preços. Para ilustrar esses efeitos no caso de uma OT, suponha, por exemplo, que determinado motorista possui o direito de trafegar em determinada velocidade por determinado trecho de uma via (digamos, 40 km/h), em que se pretende implementar uma OT tipo I. O projeto provoca dois impactos, um sobre o nível de segurança e outro sobre a disponibilidade de tempo. Neste caso, a DAR mede o quanto este motorista precisaria receber (do órgão de trânsito ou dos pedestres beneficiados, por exemplo) para ser compensado pelo efeito do projeto sobre a perda de tempo sofrida pelo motorista que deve reduzir a sua velocidade em 20 km/h no trecho em questão. O efeito sobre o preço do insumo – o tempo, no caso – é provavelmente irrisório neste exemplo, já que a implementação de uma OT isolada

pode ser considerada um projeto de pequenas proporções sem repercussões gerais sobre o preço de qualquer insumo. Suponha, além disso, que os residentes em torno do local de implementação da OT estejam sendo beneficiados pela redução do risco de sofrer um acidente ao atravessar a via, sem, no entanto, possuírem qualquer direito prévio a este risco diminuído. O que a DAP mede é o tanto que estes residentes estariam dispostos a pagar para manter o benefício da redução do risco de sofrer um acidente de trânsito.

Quando o preço (ou a qualidade) do insumo muda em decorrência do projeto, há três maneiras para medir o valor da alteração de bem-estar de um indivíduo: variação equivalente (VE), variação compensatória (VC), excedente do consumidor (EC). A VC mede o quanto de riqueza se pode tirar de um indivíduo de modo que continue no mesmo nível de utilidade que possuía antes do projeto, enquanto a VE mede o quanto de riqueza se deve dar a um indivíduo de modo que alcance o mesmo nível de utilidade que teria caso o projeto fosse implementado. Desta forma a VC mede o valor do projeto do ponto de vista da situação pré-projeto (“status quo”), enquanto que a VE mede o mesmo do ponto de vista da situação pós-projeto (ZERBE; BELLAS, 2006).

Na ACB, assume-se o “status quo” e, por isso, utiliza-se a VC. Na VC, os ganhos (ou benefícios) são avaliados pela DAP e as perdas (ou custos) pela DAR. Como a DAP tende a ser menor que a DAR⁹, a ACB oferece uma medida conservadora dos benefícios líquidos de um projeto (ZERBE; BELLAS, 2006).

Voltando ao exemplo da implementação de uma OT em um trecho viário crítico, suponha que o ganho do projeto seja a redução do risco dos moradores do trecho viário sofrerem um acidente e que a perda seja o aumento da demanda de tempo para que motoristas se desloquem ao longo do mesmo trecho. Como na ACB se assume o “status quo”, isto é, a distribuição de direitos tal como é antes da implementação do projeto, o ganho do projeto seria mensurado pelo valor que os moradores estariam dispostos a pagar (DAP) pela redução da accidentalidade e pelo valor que teria que ser dado aos motoristas (DAR) para lhes compensar o aumento do tempo de percurso.

Ainda que esta seja a abordagem padrão da ACB que está em conformidade com a economia do bem-estar, esta forma de medir os efeitos de um projeto envolve um claro julgamento de valor, que pode não ser eticamente defensável. Por exemplo, é questionável se a transgressão da restrição de velocidade imposta pela lei deva ser considerada como “bem-estar perdido” pelos motoristas, ou se um ambiente de tráfego seguro deve ser visto como algo para

⁹ Isso ocorre porque a renda e a riqueza do indivíduo restringem a sua DAP, mas não a sua DAR.

que os moradores locais devem pagar para, ainda que em princípio, compensar os motoristas. A ACB convencional de projetos de segurança viária assume implicitamente que a sociedade está disposta a trocar a vida e a saúde de seres humanos (acidentes), ainda que parcialmente, por melhorias na mobilidade (tempo de percurso). O programa de segurança viária sueco “Visão Zero”, mostra que este ponto de vista não é universalmente aceito. Na seção 3.5 serão abordadas formas alternativas de mensurar os benefícios e custos de um projeto de segurança viária que levem em consideração explicitamente o conteúdo ético-normativo dos impactos das medidas de redução de velocidade.

A terceira medida, o EC, mede a diferença entre o preço máximo que o consumidor estaria disposto a pagar por determinada quantidade de produto e o preço de mercado que ele efetivamente paga. O EC é uma medida do bem-estar gerado pela possibilidade de comprar determinado bem ao preço de mercado, e incorpora tanto o efeito substituição quanto o efeito renda de uma alteração de preço (as demais medidas valoram somente o efeito substituição). Ainda que a VC seja teoricamente preferível, a impossibilidade de observar curvas de demanda hicksianas faz com que o EC seja uma alternativa prática para mensurar a variação do bem-estar provocada por um projeto. Neste sentido, vale observar que o valor do EC sempre estará entre os valores da VC e da VE (ZERBE; BELLAS, 2006).

A ACB compara os valores monetários dos custos e dos benefícios de projetos previamente definidos, e indica se eles são viáveis e, caso sejam mutuamente exclusivos, qual é o mais vantajoso. A ideia subjacente à ACB é simples, mas não a sua implementação. Isso ocorre principalmente pela dificuldade em valorar monetariamente determinados insumos e impactos de um projeto, ou pela endogeneidade de alguns preços de insumos (ZERBE; BELLAS, 2006).

Segundo Zerbe e Bellas (2006), a fundamentação teórica da ACB provém de conceitos fundamentais da economia do bem-estar. O primeiro destes conceitos é o “ótimo de Pareto”, um estado de coisas em que ninguém pode melhorar a sua situação sem piorar a situação de outrem. Assim, uma alteração na economia (devido a um projeto público, por exemplo) representa uma “melhoria de Pareto” para uma situação “Pareto superior”, se pelo menos uma pessoa é beneficiada e nenhuma é prejudicada. Apesar de atraente por eliminar a comparação interpessoal de bem-estar, o “critério de Pareto” possui pouca utilidade prática, pois muito poucas políticas não possuem perdedores.

A partir do critério de Pareto, foi desenvolvido outro conceito, chamado “critério de Pareto potencial” ou “critério de Kaldor-Hicks” (KH), que forma a base para a atual ACB. De acordo com este critério, qualquer política que resulte em aumento da renda real agregada é

desejável, pois todos podem ser beneficiados, ou alguns podem ser beneficiados sem prejudicar outros. Em outras palavras, pelo critério KH, um projeto é desejável se o valor monetário dos ganhos superar o valor monetário das perdas. A questão da efetiva compensação de quem perde por aqueles que ganham com o projeto seria uma questão política, alheia ao campo de estudo dos economistas e própria das funções dos políticos (ZERBE; BELLAS, 2006).

De acordo com o critério KH, a viabilidade econômica de um projeto pode ser avaliada de acordo com os benefícios líquidos que ele produz. Estes benefícios líquidos devem ser calculados com base na variação compensatória, usando a DAP para valorar benefícios e a DAR para valorar custos (ZERBE; BELLAS, 2006).

De acordo com Zerbe e Bellas (2006), a versão moderna do critério KH pode ser razoavelmente caracterizada pelos seguintes pressupostos: (1) uso da DAP para mensurar os ganhos e da DAR para mensurar as perdas; (2) dependência dos testes de compensação potencial, de modo que um projeto é KH-eficiente somente se passar por um teste deste tipo; (3) ênfase na eficiência, e a desconsideração da equidade; (4) utilidade marginal da renda constante e igual entre todas as pessoas; (5) reconhecimento e inclusão de efeitos não pecuniários; (6) omissão de valores representativos de sentimentos morais; (7) dependência de externalidades e falhas de mercado para determinar em que situações a ACB pode ser útil na implementação de correções; (8) ausência de custos de transação; (9) tratamento da ACB como um mecanismo que gera a resposta do problema, em vez de um método que permite obter informações que auxiliam a discussão; (10) inclusão da maximização de riqueza como coerente com a ACB.

Para Zerbe e Bellas (2006), um levantamento da literatura teórica a respeito da ACB revela uma visão implícita que difere do critério KH, a qual tem sido denominada de Kaldor-Hicks-Moral (ou KHM). O critério KHM é fundamentado mais claramente em direitos legais que o critério KH, representa melhor as preferências das pessoas, é mais realista quanto ao papel da ACB e é mais aceitável porque evidencia a maioria das críticas fundamentais da ACB.

O critério KHM é caracterizado pelos seguintes pressupostos: (1) uso da DAP para mensurar os ganhos e da DAR para mensurar as perdas; (2) uso da DAP e da DAR do ponto de vista do “status quo” legal, reconhecendo os direitos de propriedade em vigor; (3) exclusão de ganhos e perdas legalmente ilegítimas ou que violem princípios morais amplamente aceitos; (4) reconhecimento e inclusão de efeitos não pecuniários; (5) rejeição do uso de testes de compensação potencial, de modo que um projeto é KHM-eficiente somente se os benefícios agregados superarem as perdas agregadas; (6) inclusão de todos os bens, inclusive sentimentos morais, desde que haja DAP por eles; (7) utilidade marginal da renda constante e igual entre

todas as pessoas; (8) independência da existência de externalidades ou de falhas de mercado para justificar o uso da ACB; (9) inclusão dos custos de transação presentes na operação de um projeto; (10) tratamento da ACB como um mecanismo que gera informações para auxiliar no processo de tomada de decisão, e não como um mecanismo que gera a resposta do problema (ZERBE; BELLAS, 2006).

Assim, apesar de se basear na DAP e na DAR dos indivíduos, e de atribuir o mesmo peso a todas as pessoas, tal como ocorre no critério KH, o critério KHM inclui todos os bens para os quais exista DAP (inclusive sentimentos morais e equidade) e exclui valores ilegais ou imorais, dando à ACB um papel complementar na tomada de decisão.

3.3 Avaliação de projetos de segurança viária

A avaliação formal da eficiência de medidas de segurança viária, por meio da ACB, requer um conhecimento bastante detalhado sobre os impactos relevantes da medida. É necessário saber pelo menos o seguinte (ELVIK; VEISTEN, 2005): (1) os tipos de acidentes ou lesões afetadas por uma medida, e uma estimativa de seus valores esperados em longo prazo, preferencialmente diferenciados de acordo com o tipo de acidente ou a gravidade da lesão; (2) uma estimativa do efeito de uma medida sobre acidentes ou lesões, de preferência especificados de acordo com o tipo de acidente ou a gravidade da lesão; (3) uma estimativa do custo de uma medida, tanto o custo para o setor público quanto quaisquer custos privados; (4) quaisquer outros impactos de uma medida, além dos impactos sobre a segurança viária, tais como os impactos sobre a mobilidade (tempo de viagem) e a qualidade ambiental (poluição do ar, ruído); (5) como valorizar monetariamente todos os impactos relevantes.

No caso de medidas de controle de velocidade, os principais efeitos a considerar são mudanças no número de vítimas de acidentes de trânsito, preferencialmente diferenciados de acordo com a severidade, no tempo de viagem dos usuários da via, no consumo de combustível, na emissão de poluentes e no nível de ruído (ELVIK, 2000).

Enquanto os custos de implementação da maioria dos projetos de segurança viária podem ser avaliados com adequada precisão, por envolverem valores de mercado conhecidos, o mesmo não ocorre, em geral, com os demais impactos. Os efeitos de um determinado projeto de segurança viária sobre o número e a gravidade dos acidentes, sobre a emissão de poluentes, e desta sobre a saúde humana, por exemplo, são relativamente incertos. Além da dificuldade de mensurar o impacto, ainda há a dificuldade de mensurar monetariamente efeitos para os quais

não existem preços de mercado. Contudo, mesmo com a impossibilidade de expressar todos os benefícios de um projeto em valores monetários e com a imprecisão na avaliação dos impactos, os resultados da avaliação econômica são importantes para orientar os órgãos dos governos na elaboração do orçamento, na definição de uma escala de prioridades na implementação dos projetos e na seleção de alternativas economicamente mais vantajosas para atingir determinado objetivo (FERRAZ et al., 2012).

Ademais, apesar dos acidentes de trânsito envolverem aspectos cuja valoração monetária é questionável, como a perda de vida e o sofrimento físico e psicológico, é relevante avaliar os custos monetizáveis associados aos mesmos e os benefícios econômicos advindos dos projetos de segurança viária. De acordo com Ferraz et al. (2012), somente assim é possível avaliar o benefício econômico dos projetos de segurança viária, a viabilidade econômica de investimentos em novos projetos, selecionar a alternativa economicamente mais indicada entre várias existentes para um mesmo projeto e estabelecer prioridades na implementação dos projetos. É este raciocínio que justifica o uso da ACB no presente trabalho, apesar de suas limitações indicadas na seção 3.2.

Para a avaliação de projetos de segurança viária é fundamental ter uma estimativa da eficácia das diversas intervenções sobre a redução da acidentalidade, preferencialmente com valores desagregados por tipo de acidente quanto à gravidade. Estas estimativas são, em geral, mais precisas quando obtidas a partir de intervenções similares realizadas na mesma cidade ou região, pois o nível de eficácia das ações é influenciado por fatores como o nível educacional, a cultura, o nível de fiscalização, o clima, as características do sistema viário e a composição da frota de veículos. Nos países não desenvolvidos este tipo de informação é, em geral, escassa, sendo comum o uso de dados oriundos de estudos realizados em países desenvolvidos, com conseqüente aumento do nível de incerteza dos resultados (FERRAZ et al., 2012).

De uma perspectiva mais ampla, a avaliação de projetos de segurança viária deve contemplar as mudanças ocorridas em toda a região de influência e considerar todos os impactos pertinentes, não apenas o impacto sobre a acidentalidade. Por exemplo, a implantação de medidas redutoras de velocidade em uma via comercial pode levar à migração do tráfego para vias alternativas, o aumento da acidentalidade nestas vias alternativas, o aumento da poluição atmosférica e sonora, a queda das vendas dos comerciantes da via comercial devido à redução do tráfego, a indução a um uso inadequado do solo com o surgimento de comércio em área residencial etc. (FERRAZ et al., 2012).

De acordo com a teoria da compensação do risco de Wilde (1994 apud FERRAZ et al., 2012), quando há mudanças no ambiente do trânsito (na via, no veículo, no trânsito ou no meio

ambiente) com vistas a melhorar a segurança, os usuários trocam o ganho de segurança por ganhos na mobilidade ou na comodidade, mantendo seu nível subjetivo de risco aproximadamente no mesmo patamar. Assim, somente seria possível reduzir a acidentalidade viária com mudanças no comportamento das pessoas, e não por meio de projetos de engenharia de tráfego. Na prática, a compensação total (“homeostase”), como sugerido por Wilde, é rara. Geralmente, a compensação é parcial e sua magnitude depende sobretudo da percepção por parte dos usuários da via da ação implementada visando ao aumento da segurança.

De acordo com Ferraz et al. (2012), a avaliação da eficácia de intervenções de segurança viária frequentemente incorre em erros devido à regressão à média, tendências de longo prazo, migração de acidentes e variação do volume de tráfego. Estas causas de erros são descritas a seguir.

O fenômeno da migração de acidentes diz respeito à redução da acidentalidade decorrente do tratamento de determinado local crítico vir acompanhada por um aumento na acidentalidade em áreas próximas ao local tratado. No caso de medidas redutoras de velocidade, a migração de acidentes pode ser explicada por uma tentativa por parte dos condutores de compensarem o tempo adicional gasto na passagem pelo local tratado e pela migração de parte do volume de tráfego para vias alternativas em que haja menor restrição à mobilidade (FERRAZ et al., 2012).

O fenômeno da regressão à média está relacionado com o fato dos acidentes de trânsito ocorrerem aleatoriamente, oscilando em torno de um valor médio. A oscilação é tanto maior quanto menor for o período analisado. Como, quase sempre, o tratamento de um local crítico é realizado quando o número de acidentes sobe num período anterior de curta extensão, uma avaliação de um projeto de segurança viária que compare a acidentalidade em determinado local crítico usando um período curto de análise tende a superestimar o efeito do projeto sobre a redução da acidentalidade (FERRAZ et al., 2012).

A acidentalidade em determinado local crítico também pode ser influenciada por tendências de longo prazo que nada tem a ver com o projeto de segurança viária implementado no mesmo local. A adoção de penalidades mais rígidas pela legislação, a melhoria da fiscalização ou campanhas educativas, por exemplo, podem provocar uma queda generalizada da acidentalidade. Por outro lado, o crescimento da frota de veículos ou o aumento no uso de veículos que oferecem menor segurança (como motocicletas) podem estar provocando um aumento generalizado da acidentalidade (FERRAZ et al., 2012).

Algumas medidas de segurança viária afetam substancialmente o volume de tráfego que passa pelo local tratado ou por rotas alternativas. Intervenções que reduzem a mobilidade tendem a deslocar o tráfego do local tratado para rotas alternativas, enquanto intervenções que

aumentam a mobilidade tendem a deslocar o tráfego de rotas alternativas para o local tratado. Desconsiderar a migração de tráfego pode enviesar substancialmente as estimativas do efeito sobre a acidentalidade de medidas de segurança viária que afetem a mobilidade (FERRAZ et al., 2012).

O volume de tráfego (exposição) é a variável isolada de maior influência sobre o número de acidentes (ELVIK, 2001a, 2008), e geralmente é representado pela variável volume médio diário anual (VMDA) de tráfego. Dado que o tráfego costuma crescer a taxas de crescimento anuais de variação relativamente lenta, e na falta de informações de variáveis socioeconômicas, no Brasil tem sido comum adotar uma taxa de crescimento anual de 3%, próxima da taxa de crescimento econômico do país como um todo, o que resulta em uma função exponencial do tipo (DNIT, 2010)

$$VMDA_t = VMDA_0 (1 + a)^t, \quad (1)$$

em que $VMDA_t$ é o volume de tráfego no ano t , $VMDA_0$ é o volume de tráfego no ano base, t é o número de anos decorridos após o ano base e a é a taxa de crescimento anual.

Modelos de previsão de acidentes aplicados à realidade brasileira podem ser encontrados em Cunto, Casto e Barreira (2011), Mânica (2007) e Silva (2011). Também nesses três estudos, a variável volume de tráfego foi a mais relevante na explicação do número de acidentes, seguida da variável número de faixas.

Para o presente estudo, contudo, a evolução do volume de tráfego ao longo do tempo pode ter relevância menor. Se por um lado o número de acidentes tende a aumentar por causa da tendência de aumento do volume de tráfego, por outro lado existe um efeito inverso determinado pelo fenômeno da regressão à média (ELVIK, 2008; FERRAZ et al., 2012; PERSAUD; LYON, 2007).

De acordo com Ogden (1996 apud FERRAZ et al., 2012), há três métodos comumente usados para avaliar a eficácia de intervenções de segurança viária: comparação antes e depois, comparação usando locais de referência e comparação de tendências ao longo do tempo. A comparação antes e depois consiste em comparar valores médios do número ou do índice de acidentes antes e depois da implementação de determinada medida, tomando como referência períodos suficientemente longos para que os resultados sejam estatisticamente confiáveis (a partir de três anos). Na comparação usando locais de referência são comparados os valores médios do número ou do índice de acidentes nos locais onde foi implementada determinada medida com aqueles observados em outros locais com características similares onde não ocorreram mudanças (locais de referência). A comparação de tendências ao longo do tempo consiste no desenvolvimento de um modelo de predição dos valores futuros da acidentalidade,

baseado em uma série histórica anterior à intervenção, e na comparação, após a intervenção, entre os valores médios previstos e aqueles observados (FERRAZ et al., 2012).

De acordo com a “lei de ferro dos estudos de avaliação [de tratamentos de segurança viária]”, preconizada por Rossi e Freeman (1985 apud ELVIK et al., 2009), quanto mais bem elaborado for um estudo de avaliação, menor é a probabilidade do mesmo resultar em efeitos positivos para projetos de segurança viária.

3.4 Avaliação dos impactos de ondulações transversais e dispositivos de fiscalização eletrônica

A ACB das medidas moderadoras de tráfego OT e REV requer a estimação de uma série de impactos potenciais. A Tabela 2 mostra os impactos que são costumeiramente incluídos em ACB de projetos de investimento rodoviário na Noruega (ELVIK, 2001a), enquanto a Tabela 3 mostra os impactos de medidas destinadas a melhorar a segurança ou a mobilidade de pedestres e ciclistas que devem ser incluídos em ACB (ELVIK, 2000).

3.4.1 Efeito sobre a acidentalidade

O modelo básico para estimar o número de lesões que podem ser evitadas por determinada medida de segurança viária é dado por Elvik (2001a):

$$\text{número de lesões evitadas} = \text{exposição} \times \text{risco} \times \text{efeito de segurança da medida}$$

Os dois primeiros termos do lado direito do sinal de igualdade dessa expressão dão o número esperado de lesões que podem ser afetadas pela medida. No caso do presente estudo, estes termos são dados pelo número de lesões, por nível de severidade, que ocorreram em determinada seção crítica da via em consequência de acidentes de trânsito.

O efeito de segurança esperado de uma determinada medida de intervenção de trânsito pode ser expresso em termos de redução percentual do número de acidentes ou em termos de um fator modificador de acidentes (FMA), o qual, multiplicado pelo número de acidentes esperados sem a medida, resulta no número de acidentes esperados com a medida. Alternativamente, o FMA pode ser representado pelo fator redutor de acidentes (FRA), o qual corresponde a $FRA = 1 - FMA$, e geralmente é citado em termos percentuais. Por exemplo, um FMA de 0,9 corresponde a um FRA de 10%. Para obter estimativas mais precisas, o número de acidentes deve ser diferenciado de acordo com o grau de severidade do acidente.

Estimativas para os FMA e FRA podem ser obtidas por avaliações de peritos, manuais como o de Elvik et al. (2009) ou páginas eletrônicas como o Crash Modification Factors Clearinghouse (Disponível em: <<http://www.cmfclearinghouse.org>>).

De acordo com a meta-análise realizada por Elvik et al. (2009), OT possuem um FRA com vítimas de 41%, com intervalo de confiança de 95% de (34; 57): $IC_{95\%}(34; 57)$.

Tabela 2 – Itens incluídos e omitidos em análises custo-benefício de projetos de investimento rodoviário na Noruega

| Objetivo principal da política | Subcategorias | Unidades físicas etc. | Unidade de valoração | Valor por unidade (NOK, 1995) |
|--------------------------------|--------------------------------|--|----------------------|-------------------------------|
| Melhorar a mobilidade | Tempo de viagem | Pedestre | Pessoa/h | Não incluído |
| | | Ciclista | Pessoa/h | Não incluído |
| | | Motociclista | Pessoa/h | Não incluído |
| | | Ocupante de carro | Pessoa/h | 48 |
| | | Motorista de caminhão | Caminhão/h | 272 |
| Confiabilidade do transporte | | Motorista de ônibus | Ônibus/h | 244 |
| | | Passageiro de ônibus | Pessoa/h | 35 |
| | | Atrasos, vias impedidas | Indefinida | Não incluído |
| Reduzir o custo de transporte | Custo de operação dos veículos | Carro de passeio | km/viagem | 0,88 |
| | | Caminhão sem reboque | km/viagem | 2,22 |
| | | Caminhão com reboque | km/viagem | 3,26 |
| | | Ônibus | km/viagem | 3,98 |
| Melhorar a segurança viária | Acidentes de trânsito | Lesões reportadas pela polícia | Fatalidade | 16.600.000 |
| | | | Lesão crítica | 11.370.000 |
| | | | Lesão séria | 3.780.000 |
| | | | Lesão leve | 500.000 |
| | | Média de todos os níveis de severidade | | 1.430.000 |
| | Insegurança | Usuários das vias Residentes ao longo das estradas | Indefinida | Não incluído |
| | | | Indefinida | Não incluído |

(Continua)

Tabela 2 – Itens incluídos e omitidos em análises custo-benefício de projetos de investimento rodoviário na Noruega

| Objetivo principal da política | Subcategorias | Unidades físicas etc. | Unidade de valoração | Valor por unidade (NOK, 1995) | (Conclusão) |
|--------------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------|
| Melhorar o meio ambiente | Ruído de trânsito | Veículo leve | km/viagem | 0,055 | |
| | | Veículo pesado | km/viagem | 0,550 | |
| | Poluição do ar | CO ₂ | tonelada de CO ₂ | 220 | |
| | | NO _x | kg de NO _x | 115 | |
| | | SO ₂ | kg de SO ₂ | 37 | |
| | | VOC | kg de VOC | 15 | |
| | | PM ₁₀ | kg de PM ₁₀ | 1800 | |
| | Preservação da paisagem | Natureza intacta | Indefinida | | Não incluído |
| | | Qualidades estéticas | Indefinida | | Não incluído |
| | | Rompimento de habitats | Indefinida | | Não incluído |

Fonte: Adaptado de Elvik (2001a).

Nota: NOK é a abreviatura para a moeda Coroa Norueguesa, cuja unidade equivalia a cerca de R\$ 0,30 em janeiro de 2012.

Tabela 3 – Impactos potenciais de medidas de segurança viária para pedestres e ciclistas

| Impacto | Valoração econômica relevante | Há estimativas de custo |
|---|---|----------------------------|
| | Impactos para pedestres e ciclistas | |
| Mudanças no número e na gravidade dos acidentes | Custos dos acidentes | Sim, em parte |
| Mudanças no tempo de percurso ou no tempo de espera | Custos do tempo de percurso | Somente muito preliminares |
| Mudanças na escolha por rotas (acessibilidade) | Valor da acessibilidade | Não |
| Mudanças no volume de tráfego (número de viagens) | Custos gerais das viagens | Não |
| Mudanças no estado de saúde | Custos de doenças | Sim, em parte |
| Mudanças na segurança (percepção de segurança) | Custos da insegurança | Não |
| | Impactos para o tráfego motorizado | |
| Mudanças no número e na gravidade dos acidentes | Custos dos acidentes | Sim |
| Mudanças na velocidade e no tempo de percurso | Custos do tempo de percurso | Sim |
| | Impactos da transferência de viagens dos modos motorizados para não motorizados | |
| Mudanças na necessidade de transporte escolar | Custos do transporte escolar de ônibus | Sim |
| Mudanças na emissão de ruído e poluição | Custos do ruído e da poluição | Sim |

Fonte: Elvik (2000).

Estimativa semelhante pode ser obtida a partir do conhecimento da relação entre a velocidade média dos veículos e o número de acidentes, e o efeito da medida sobre essa velocidade. A velocidade média verificada em locais tratados com OT caiu de 47,7 para 36,6 km/h (ELVIK et al., 2009) e, de acordo com o modelo de potência de Elvik, Christensen e Amundsen (2004), a estimativa da redução do número de acidentes com vítimas para essa redução na velocidade média é de $1 - (36,6/47,7)^2 = 41,1\%$, com $IC_{95\%}(29,1; 51,1)$.

Quanto aos REV, Shin, Washington e Schalkwyk (2009) verificaram que a instalação de radares reduz o número de acidentes com vítimas em 48%, com $IC_{95\%}(20,6; 75,4)$. Novoa et al. (2010) estimam esse número em 26% para radares fixos, com $IC_{95\%}(14; 36)$.

Elvik (2009) estendeu o modelo original de potência de uma forma particularmente útil para o presente estudo. Além de diferenciar o impacto da velocidade sobre os acidentes de trânsito por nível de severidade, este modelo também possibilita calcular separadamente o impacto para vias residenciais e urbanas ou para vias rurais e rodovias. Como OT são aplicadas quase exclusivamente em vias urbanas e residenciais, a comparação desta intervenção com REV deve ser feita nesses tipos de vias, o que torna a diferenciação por tipo de via particularmente relevante.

No modelo de potência estendido por Elvik (2009), o FMA é calculado como o quociente entre a velocidade média após a intervenção (\bar{V}_{t+1}) e a velocidade média antes da intervenção (\bar{V}_t), elevado a uma potência de acordo com o nível de severidade do acidente (p_i):

$$FMA = \left(\frac{\bar{V}_{t+1}}{\bar{V}_t} \right)^{p_i} \quad (2)$$

A partir desta fórmula é possível estimar, no caso de vias urbanas e residenciais, o fator modificador para acidentes fatais ($p = 2,6$), acidentes com lesões ($p = 1,2$), acidentes com lesões graves ($p = 1,5$), acidentes com lesões leves ($p = 1,0$), acidentes com danos materiais apenas ($p = 0,8$), número de óbitos ($p = 3,0$), pessoas lesionadas ($p = 1,4$), pessoas gravemente lesionadas ($p = 2,0$) e pessoas levemente lesionadas ($p = 1,1$).

As estimativas do expoente do modelo de potência foram obtidas por Elvik (2009) a partir de uma meta-análise de estudos que avaliaram a relação entre velocidade e segurança viária. Após a exclusão de alguns estudos, alimentaram a análise 115 estudos que continham 526 estimativas da relação entre velocidade e acidentes de trânsito. A maioria dos estudos foi feita nos países nórdicos, mas também estão representados na amostra os países das ilhas britânicas, EUA, Austrália, Nova Zelândia, Japão, Suíça, Canadá, Holanda, Alemanha, Bahrein, Estônia e Israel.

3.4.2 Efeito sobre o nível de ruído

O nível de ruído (isto é, de som) é geralmente mensurado em decibéis (dB). Sob condições normais, alterações de ruído são perceptíveis ao ser humano a partir de 3 dB. Como o ouvido humano apresenta uma resposta não linear a sons de diferentes frequências, costuma-se aplicar um esquema de ponderação. O esquema mais comum é a escala A, a qual oferece uma boa aproximação do nível “percebido” de ruído. Para evidenciar que foi aplicado um esquema de ponderação de frequências, a unidade é escrita dB(A) (ROBERTSON et al., 1998).

O aumento do nível de ruído é considerado um efeito negativo porque, de acordo com Robertson et al. (1998), prejudica a audição, causa distúrbios de sono, aumenta a frequência de doenças cardiovasculares, dificulta conversas e gera uma sensação geral de incômodo. A relação entre o nível de ruído e a força desses efeitos, no entanto, depende de uma variedade de fatores, como a amplitude do ruído (o “volume” do ruído), as suas características temporais (se é regular ou intermitente), o seu espectro de frequência (a “natureza” do ruído) e o contexto do ruído (que informação o ruído contém). Não é possível, portanto, estabelecer uma relação simples e direta entre o nível de ruído e os seus efeitos negativos. Ainda assim, tem se tornado comum em estudos de tráfego estimar o efeito do ruído essencialmente a partir do nível de ruído, medido em dB(A), a fim de simplificar a análise (ROBERTSON et al., 1998).

Conforme Robertson et al. (1998), o ruído emitido por veículos rodoviários provém de três fontes principais: o atrito do veículo com o ar, a unidade de força do veículo e o atrito do pneu com o solo. Enquanto o ruído proveniente do atrito com o ar pode ser negligenciado em condições normais de tráfego, a unidade de força e o atrito do pneu com o solo são fontes importantes e fundamentalmente diferentes de ruído. O ruído da unidade de força depende mais da aceleração (maior aceleração gera maior ruído) e da marcha (menores marchas geram maior ruído) do que da velocidade de tráfego, e tende a predominar a velocidades abaixo de 20–40 km/h (no caso de carros modernos). Já o ruído do atrito com a rua depende principalmente da velocidade e segue uma relação logarítmica: dobrar a velocidade leva a um aumento de aprox. 12 dB(A) no nível máximo de ruído. Para saber o efeito sobre o nível equivalente do ruído – isto é, de um nível médio de ruído ao longo do tempo – é preciso considerar também o tempo de exposição da passagem de um veículo. Quanto menor a velocidade, maior é o tempo de exposição. Além disso, quanto menor a velocidade, maior é a amplitude da variação do nível de ruído (ROBERTSON et al., 1998).

O efeito sobre o nível de ruído provocado por OT foi estimado por Abbott e Layfield (1996) entre -7 e 7 dB(A) e por Kokowski e Makarewicz (2006) em $0,4$ dB para veículos leves, podendo ser considerado desprezível. Um efeito não considerado nestas estimativas é o ruído gerado por cargas soltas ou por peças soltas nos veículos, o qual pode ser significativo. Segundo Robertson et al. (1998), ainda que em geral não seja possível mensurar esses efeitos, os tomadores de decisão devem levar em consideração a possibilidade de que OT gerem um aumento no nível de ruído. O autor ainda argumenta que tem havido reclamações por parte de residentes próximos a OT devido ao aumento da percepção de ruído (o que pode ocorrer devido a frenagens e ao consequente deslocamento de cargas nos veículos, por exemplo).

3.4.3 Efeito sobre a mobilidade

O impacto de medidas de controle de velocidade sobre o tempo de percurso pode ser estimado pela redução na velocidade média, atribuindo valores ao tempo das pessoas ou dos veículos. O impacto exato de cada medida sobre o perfil de velocidade depende também da velocidade inicial, das dimensões das OT e do espaçamento entre unidades sequenciais de controladores de velocidade.

Perfis de velocidade de diferentes veículos em deflexões verticais são estudados por Barbosa, Tight e May (2000), Başlamişli e Ünlüsoy (2009), Johnson e Nedzesky (2004), Rios e Pinheiro (2005), Cupolillo (2006), Bjarnason (2004), Ibrahim, Arif e Karim (2003), Silva, Seco e Silva (2010), Ponnaluri e Groce (2005) e Maciel (2010). Para controladores eletrônicos de velocidade, tem-se os estudos de Hirst, Mountain e Maher (2005), Alencar e Freitas (2004), Cupolillo (2006) e Lopes (2006).

De acordo com o estudo de Ibrahim, Arif e Karim (2003), o perfil de velocidade de veículos que passam por OT pode ser descrito por meio de uma relação linear entre velocidade média e distância até o dispositivo. Assim, estes autores observam que para o perfil de velocidade de veículos 45 metros a jusante e a montante de OT, e uma velocidade inicial de $33,0$ km/h, chega-se a um aumento do tempo de viagem em torno de $2,2$ segundos. Para efeito de comparação, Maciel (2010) estima um aumento do tempo de viagem em torno de 2 segundos por dispositivo para uma seção de via de mesmo comprimento. Ambos os estudos obtiveram dados de OT-II apenas.

O comprimento da seção de via afetada pela implementação de OT no que diz respeito à redução da velocidade média é de aproximadamente $40-60$ m antes e após o dispositivo

(BARBOSA; MOURA, 2008). Silva, Seco e Silva (2010), por sua vez, observaram que os veículos começam a reduzir a velocidade a partir de aproximadamente 25 m antes de OT e voltam a alcançar a velocidade inicial a partir de 50–60 m depois da mesma. De acordo com Stumpf (1999), os REV chegam a uma área de influência de 210 m, tanto no trecho anterior quanto no posterior ao dispositivo.

3.4.4 Efeito sobre a poluição atmosférica

A emissão de gases de exaustão produzida por determinado veículo depende de um grande número de fatores, os quais podem ser categorizados em dois grandes grupos: fatores técnicos (peso do veículo, tipo de motor, tipo de combustível, tipo de transmissão, propriedades aerodinâmicas, idade, catalisador etc.) e fatores operacionais (velocidade, aceleração, manutenção, inclinação da via etc.) (BOULTER, 2000). No caso de medidas de moderação de tráfego, o grupo de fatores mais relevante é o operacional, até porque afetar a operação dos veículos é o principal objetivo destas medidas.

De acordo com Boulter (2000), a maior parte das pesquisas que tratam dos fatores operacionais das emissões de gases de exaustão se concentraram na relação entre emissões e velocidade e, mais recentemente, entre emissões e aceleração.

A forma mais comum de representar as taxas de emissões de veículos tem sido como uma função da velocidade média e, no caso de veículos de passeio, as variações características dessas emissões com a velocidade são bem conhecidas. Em geral, velocidades médias mais baixas estão associadas a emissões maiores de monóxido de carbono (CO) e de hidrocarbonetos (HC), e a emissões menores de óxido de nitrogênio (NO_x) (BOULTER, 2000).

De acordo com Boulter (2000), alguns estudos mostram que a velocidade média em determinado trecho de via é o principal fator determinante das emissões. No caso de dispositivos redutores de velocidade, no entanto, ocorre uma significativa alteração do ciclo operacional, com aumento da variabilidade da velocidade e dos ciclos de acelerações e desacelerações (BOULTER, 2000). Ainda que a variância da velocidade instantânea afete menos as emissões do que a velocidade média, Hansen, Winther e Sorenson (1995) mostrou que a variância da velocidade é um fator relevante na emissão de CO e HC a velocidades baixas (10–40 km/h) e a velocidade altas (60–90 km/h). No caso do NO_x , a velocidade média e a variabilidade na velocidade instantânea quase se equivalem em importância na determinação das emissões, sendo que à velocidades baixas, a variância da velocidade chega a superar a média

da velocidade em importância. Os resultados foram semelhantes para carros a gasolina com ou sem catalisador.

Como em última análise é a exigência de força do motor que determina o nível de emissão de poluentes, uma outra forma de analisar o nível de emissões é pelo produto de velocidade e aceleração do veículo, medidos como parâmetros instantâneos. Se as emissões instantâneas puderem ser associadas às correspondentes condições de direção e operação, por meio de detalhada análise modal, as emissões de poluentes podem ser representadas como funções de velocidade e aceleração instantâneas (JOST; HASSEL; WEBER, 1992).

De acordo com Boulter (2000), outros fatores operacionais que influenciam o nível de emissão de poluentes por um veículo são a seleção de marchas (quanto mais alta a marcha, menores as emissões), a inclinação da via (quanto mais íngreme a subida, maiores as emissões), a altitude (quanto maior a altitude, maiores as emissões de *CO* e *HC*, e menores as emissões de *NO_x*) e a temperatura do motor (enquanto o motor operar em temperatura abaixo da temperatura de projeção, as emissões são maiores). A temperatura do motor é particularmente relevante no caso de medidas redutoras de velocidade, pois se estas forem instaladas em áreas residenciais – como frequentemente o são – muitos veículos estarão operando a frio (isto é, com motor abaixo de sua temperatura de projeção), e as emissões serão maiores do que aquelas observadas em condições normais (com motor quente).

Como os impactos ambientais de medidas moderadoras de tráfego não tem sido um fator relevante no desenho destas medidas, há pouca informação sobre o impacto de diferentes medidas sobre a emissão de poluentes pelos veículos. Em geral, os estudos tem indicado que a implementação de medidas moderadoras de tráfego eleva tanto o consumo de combustível quanto as emissões de *CO* e *HC* e dióxido de carbono (*CO₂*). No caso de *NO_x*, tanto aumentos quanto reduções nas emissões foram observadas, e a variabilidade dos impactos mensurados foi a mais pronunciada entre todos os poluentes (BOULTER, 2000). A Tabela 4 mostra os resultados observados especificamente no caso de OT.

Os resultados encontrados variam significativamente, não apenas por causa da diversidade de fatores que influenciam a emissão de poluentes pelos veículos, mas também pela existência de vários métodos de mensuração das emissões, e pelas dificuldades enfrentadas nesta mensuração. Testes de laboratório, por exemplo, não representam fielmente os reais ciclos operacionais dos veículos, sobretudo em ambientes com tráfego intenso. Testes “on board” exigem o uso de equipamento de mensuração menos sofisticado e também estão restritos a veículos isolados. Testes de sensoriamento remoto, por sua vez, são os menos precisos, ainda

que sejam os mais indicados para mensurar as emissões do conjunto de veículos que trafegam por determinado local. Por fim, ainda existem os modelos de emissões, os quais são genéricos para determinado tipo de veículo/motor e ciclo operacional teórico, e consideram somente um número reduzido de fatores determinantes (BOULTER, 2000).

De acordo com Boulter (2000), existem basicamente três tipos de modelos de emissões que, em ordem crescente de complexidade, são: modelos de fatores de emissão, modelos de velocidade média e modelos modais. Nos modelos de fatores de emissão, um único fator de emissão é usado para representar determinado tipo de veículo e um tipo bastante genérico de direção, tal como urbano, rural ou rodovia. Os fatores de emissão são calculados como valores médios de repetidas mensurações para determinado ciclo operacional. Nos modelos de velocidade média, as taxas de emissão de poluentes são medidas para uma variedade de ciclos operacionais, cada um com uma velocidade média diferente, resultando em funções de emissões que dependem da velocidade média e, às vezes, da aceleração ou de partida fria. Modelos modais, por sua vez, relacionam as taxas de emissões a modos de operação em termos de fase de velocidade constante, fase de aceleração, fase de desaceleração e fase de parada. Os modelos mais complexos usam uma matriz de taxas instantâneas de emissões e de velocidade/aceleração. Os modelos modais representam o estado-da-arte na modelagem de emissões veiculares, mas requerem uma quantidade maior de informações. Para modelar o impacto ambiental de medidas moderadoras de tráfego, apenas os modelos de velocidade média e os modelos modais devem ser considerados (BOULTER, 2000).

Boulter (2000) cita uma variedade de modelos de emissões que estão em uso na Europa, tais como DMRB, COPERT, MEET, MODEM, HBEFA e DGV. A aplicação direta destes modelos no Brasil, no entanto, não é adequada, em grande parte por causa das diferenças na legislação de controle de emissões e, conseqüentemente, nas taxas de emissões de poluentes. Mas também por diferenças na frota de veículos e na composição do combustível. Não foi encontrado um modelo genuinamente brasileiro.

No que diz respeito às emissões de poluentes provocadas por medidas moderadoras de tráfego, Boulter (2000) comparou o poder de previsão dos modelos MEET (“Methodologies for Estimating Emissions from Transport”) e MODEM (“Modelling of Emissions and Consumption in Urban Areas”) com medições em laboratório e de sensoriamento remoto, e chegou à conclusão de que, para quase todas as combinações de tipo de veículo e poluente, o modelo de velocidade média MEET forneceu uma indicação mais confiável do impacto provável da moderação de tráfego que o modelo MODEM, apesar do fato deste último

empregar um mecanismo mais detalhado para representar o funcionamento do veículo. Segundo o autor, a abordagem de velocidade média que é usada no modelo MEET fornece, para uma primeira aproximação, uma boa indicação global dos impactos percentuais da moderação de tráfego sobre as emissões por veículo.

Com o intuito de medir os custos do congestionamento no Brasil, IPEA e ANTP (1999) adaptaram modelos de emissões estrangeiros (abordagem de velocidade média) usando dados nacionais de emissões de um veículo médio da cidade de São Paulo e definiram equações que relacionam as emissões de CO , HC e NO_X , medidas em g/km, com a velocidade média (V), medida em km/h, para $0 \leq V \leq 80$. Foram definidas equações para automóveis a gasolina e para ônibus a diesel. Para o caso dos automóveis, as equações definidas foram:

$$CO = -4,51 + \frac{727}{V} + \frac{1,34}{10^3} V^2 \quad (3)$$

$$HC = -0,28 + \frac{62,48}{V} \quad (4)$$

$$NO_X = 1,03 + \frac{7,477}{10^5} V^2 \quad (5)$$

Estas equações servem de referência para os projetos de transporte no Brasil e mostram que as emissões de HC diminuem enquanto que as de NO_X aumentam com o aumento da velocidade. As emissões de CO atingem seu mínimo na velocidade de 64,7 km/h (Figura 2). Estes resultados estão coerentes com estudos que mostram que quanto mais severas forem as medidas de redução de velocidade, menores se tornam as emissões de NO_X e maiores as de CO e HC , devido principalmente ao aumento da aceleração após a passagem do veículo pelo dispositivo (ROBERTSON et al., 1998). Portanto, ainda que não levem em consideração explicitamente o efeito da aceleração, as equações de IPEA e ANTP (1999), pelo menos indicam corretamente a direção do impacto ambiental de medidas moderadoras de tráfego.

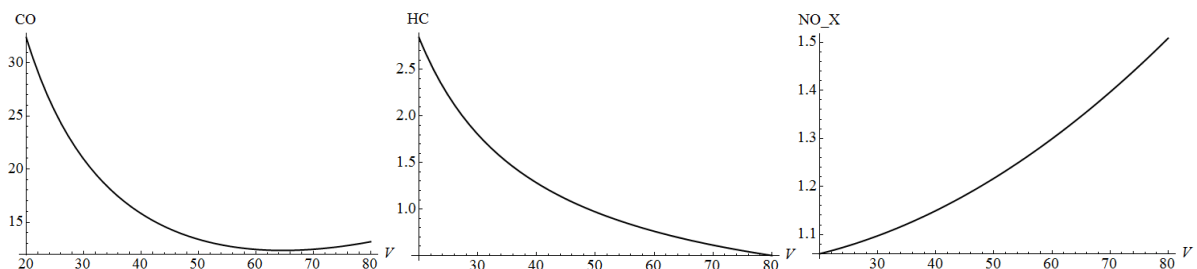


Figura 2 – Emissão de poluentes (g) em função da velocidade média (km/h)

Fonte: Elaboração própria a partir de IPEA e ANTP (1999).

Tabela 4 – Estudos sobre o impacto ambiental de OT, em percentagem por veículo-km

| Estudo | Medida | Velocidade média | | Tipo de veículo | CO | HC | NO _x | Consumo de combustível |
|---------------------------|-------------------------------|------------------|-----------|-----------------|-------------|------------|-----------------|------------------------|
| | | Antes | Depois | | | | | |
| Webster (1993) | OT | 48 | 39–43 | GSC | +70 a +90 | +70 a +120 | -20 a 0 | +50 a +60 |
| | | | | GCC | +125 a +160 | 0 | 0 | |
| Boulter (1996) | OT e almofadas antivelocidade | 48 | 32 | GSC | +31 a +58 | +37 a +59 | -34 a -10 | +12 a +29 |
| | | | | GCC | +5 a +33 | 0 a +30 | -21 a +5 | +15 a +34 |
| | | | | Diesel | +13 a +34 | +73 a +111 | -8 a +22 | -5 a +12 |
| Höglund (1995) | 1 OT em 1,5 km | 50 | 30 nas OT | GSC | +11 | | +22 | +5 |
| | | | | GCC | +20 | | +18 | +4 |
| Züger e Blessing (1995) | 6 OT em 1,5 km | 30 | 15 nas OT | GSC | +200 | | +300 | +51 |
| | | | | GCC | +200 | | +300 | +37 |
| van Every e Holmes (1992) | 5 OT em 1,5 km | 50 | 15–25 | GSC | +160 | | +900 | +25 |
| | | | | GCC | | | | |
| Boulter (2000) | OT | 48 | 32 | GSC | +43 | +71 | +7 | |
| | | | | GCC | +42 | +41 | +25 | |
| | | | | Diesel | +56 | +57 | +38 | |
| | | | | F1998 | +41 | +57 | +10 | |
| | | | | F2000 | +41 | +55 | +13 | |
| | | F2005 | +40 | +48 | +22 | | | |

Nota: OT – ondulação transversal; GSC – gasolina sem catalisador; GCC – gasolina com catalisador; F1998, F2000, F2005 – efeito ponderado para a frota de veículos do Reino Unido em 1998, 2000 e 2005, respectivamente.
 Fonte: Adaptado de Boulter (2000).

Para comparar a previsão de emissões do modelo de IPEA e ANTP (1999) com as constantes na Tabela 4, considere-se que um dispositivo redutor de velocidade (uma OT-I, por exemplo) reduza a velocidade média de 48 km/h para 32 km/h. Neste caso, o modelo prevê impactos de +43% na emissão de CO , +64% na emissão de HC , -8% na emissão de NO_X e +17% no consumo de combustível. Estes impactos são coerentes com os resultados encontrados por Boulter (2000) no caso de CO e HC , e por Boulter (1996) no caso de NO_X e do consumo de combustível.

Em termos absolutos, as emissões previstas pelo modelo de IPEA e ANTP (1999) se aproximam das taxas de emissões previstas pelo modelo MEET para carros à gasolina sem catalisador, como pode ser visto na Tabela 5. No caso do modelo IPEA/ANTP, assumiu-se uma redução da velocidade média de 48 km/h para 32 km/h.

Tabela 5 – Taxas absolutas de emissão de poluentes antes de após medidas de moderação de tráfego, por tipo de veículo, em g/km

| Poluente | Tipo de veículo | Antes da moderação | | | Após a moderação | | |
|----------|-----------------|--------------------|------|-----------|------------------|------|-----------|
| | | TRL | MEET | IPEA/ANTP | TRL | MEET | IPEA/ANTP |
| CO | GSC | 13,9 | 8,00 | 13,72 | 18,5 | 11,1 | 19,58 |
| | GCC | 3,95 | 2,11 | | 6,26 | 3,87 | |
| | Diesel | 0,61 | 0,42 | | 0,84 | 0,63 | |
| HC | GSC | 1,52 | 1,34 | 1,02 | 2,28 | 1,73 | 1,67 |
| | GCC | 0,13 | 0,19 | | 0,20 | 0,27 | |
| | Diesel | 0,22 | 0,09 | | 0,32 | 0,12 | |
| NO_X | GSC | 1,08 | 2,02 | 1,20 | 1,08 | 1,84 | 1,11 |
| | GCC | 0,09 | 0,35 | | 0,09 | 0,38 | |
| | Diesel | 0,53 | 0,67 | | 0,68 | 0,81 | |

Nota: GSC – gasolina sem catalisador; GCC – gasolina com catalisador. TRL se refere a testes realizados pelo instituto de trânsito do Reino Unido Transport Research Laboratory. MEET (“Methodologies for Estimating Emissions from Transport”) é um modelo de emissões que segue a abordagem da velocidade média, tal como o modelo de IPEA/ANTP. IPEA/ANTP se refere à aplicação do modelo a uma redução da velocidade média de 48 para 32 km/h.

Fonte: Adaptado de Boulter (2000) e IPEA e ANTP (1999).

Convém notar aqui que os catalisadores foram introduzidos no Brasil a partir de 1992, como parte do Programa Nacional de Controle de Emissões Veiculares (Proconve), uma iniciativa do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). De acordo com um levantamento da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), realizado em 2006, cerca de 25% da frota de veículos de São Paulo não possui catalizador (SELO..., 2010). Outro levantamento da Cetesb, realizado a partir de uma amostra

de 462 veículos fabricados de 1992 a 2007 em São Paulo, mostrou que 37% dos veículos estavam com o catalisador inoperante (SEVERO, 2009).

No âmbito do Proconve são estabelecidos limites máximos de emissão de poluentes por veículos automotores. Para os veículos novos, o programa estabeleceu um cronograma de redução gradativa dos principais poluentes, com limites máximos diferenciados para veículos leves de passageiros, veículos leves comerciais com massa inferior a 1700 kg, veículos leves comerciais com massa superior a 1700 kg, veículos pesados (4 subgrupos), ciclomotores e motocicletas. O programa conseguiu reduzir significativamente as emissões de poluentes por veículos automotores. A emissão média de monóxido de carbono (*CO*) por um veículo leve, por exemplo, foi reduzida de 54 g/km em modelos pré-1980 para cerca de 0,26 g/km em modelos 2011 movidos à gasolina C (78% gasolina + 22% álcool). A Tabela 6 mostra os fatores médios de emissão de veículos leves novos, por ano do modelo e tipo de combustível.

A comparação da previsão do modelo IPEA/ANTP para um veículo à velocidade média de 48 km/h (Tabela 5) com os fatores de emissão obtidos no âmbito do Proconve (Tabela 6) revela que as previsões do modelo IPEA/ANTP parecem ser adequadas somente no caso de veículos fabricados durante os anos 1990 e 1991. Manzoli (2009) mediu e comparou as emissões de *CO* e *HC* de um carro Fiat Pálio, ano 2004, com motor 1.3 l flex (abastecido com gasolina) e 90.000 km rodados, com as emissões previstas pelo modelo de emissões de IPEA e ANTP (1999). De acordo com a Tabela 6, as emissões de *CO*, *HC* e *NO_x* por um carro novo modelo 2004 deveriam ser em torno de 30, 16 e 26 vezes menores, respectivamente. Entretanto, os resultados de Manzoli (2009) mostram que o modelo de emissões subestima (!) consideravelmente as emissões deste veículo ao longo de um trecho em ambiente urbano (com semáforos e paradas obrigatórias) enquanto o motor está frio, e se aproxima razoavelmente bem das previsões à medida que o motor aquece e atinge sua temperatura de projeção. Observou-se também a importância do fator inclinação da via como determinante da taxa de emissão, que se mostrou mais relevante que a velocidade média na determinação da taxa de emissão. As emissões mensuradas foram mais altas que as previstas pelo modelo mesmo com o motor aquecido e trafegando em fraco declive (-0,8%). Este resultado parece ainda mais estranho se considerado que antes do experimento, o veículo passou por uma revisão geral em que foi certificado que suas emissões de *CO* e *HC* estavam de acordo com as normas vigentes.

Tabela 6 – Fatores médios de emissão de veículos leves novos, em g/km

| Ano/Modelo | Combustível | CO | HC | NO _x | Ano/Modelo | Combustível | CO | HC | NO _x |
|------------|-------------|-------|------|-----------------|--------------|--------------|------|------|-----------------|
| Pré-1980 | Gasolina | 54,00 | 4,70 | 1,20 | 2002 | Gasolina C | 0,43 | 0,11 | 0,12 |
| 1980–1983 | Gasolina C | 33,00 | 3,00 | 1,40 | | Álcool | 0,74 | 0,16 | 0,08 |
| | Álcool | 18,00 | 1,60 | 1,00 | 2003 | Gasolina C | 0,40 | 0,11 | 0,12 |
| 1984–1985 | Gasolina C | 28,00 | 2,40 | 1,60 | | Álcool | 0,77 | 0,16 | 0,09 |
| | Álcool | 16,90 | 1,60 | 1,20 | Flex-Gasol.C | 0,50 | 0,05 | 0,04 | |
| 1986–1987 | Gasolina C | 22,00 | 2,00 | 1,90 | Flex-Álcool | 0,51 | 0,15 | 0,14 | |
| | Álcool | 16,00 | 1,60 | 1,80 | 2004 | Gasolina C | 0,35 | 0,11 | 0,09 |
| 1988 | Gasolina C | 18,50 | 1,70 | 1,80 | | Álcool | 0,82 | 0,17 | 0,08 |
| | Álcool | 13,30 | 1,70 | 1,40 | Flex-Gasol.C | 0,39 | 0,08 | 0,05 | |
| 1989 | Gasolina C | 15,20 | 1,60 | 1,60 | Flex-Álcool | 0,46 | 0,14 | 0,14 | |
| | Álcool | 12,80 | 1,60 | 1,10 | 2005 | Gasolina C | 0,34 | 0,10 | 0,09 |
| 1990 | Gasolina C | 13,30 | 1,40 | 1,40 | | Álcool | 0,82 | 0,17 | 0,08 |
| | Álcool | 10,80 | 1,30 | 1,20 | Flex-Gasol.C | 0,45 | 0,11 | 0,05 | |
| 1991 | Gasolina C | 11,50 | 1,30 | 1,30 | Flex-Álcool | 0,39 | 0,14 | 0,10 | |
| | Álcool | 8,40 | 1,10 | 1,00 | 2006 | Gasolina C | 0,33 | 0,08 | 0,08 |
| 1992 | Gasolina C | 6,20 | 0,60 | 0,60 | | Álcool | 0,67 | 0,12 | 0,05 |
| | Álcool | 3,60 | 0,60 | 0,50 | Flex-Gasol.C | 0,45 | 0,10 | 0,05 | |
| 1993 | Gasolina C | 6,30 | 0,60 | 0,80 | Flex-Álcool | 0,47 | 0,11 | 0,07 | |
| | Álcool | 4,20 | 0,70 | 0,60 | 2007 | Gasolina C | 0,33 | 0,08 | 0,08 |
| 1994 | Gasolina C | 6,00 | 0,60 | 0,70 | | Flex-Gasol.C | 0,45 | 0,10 | 0,05 |
| | Álcool | 4,60 | 0,70 | 0,70 | Flex-Álcool | 0,47 | 0,11 | 0,07 | |
| 1995 | Gasolina C | 4,70 | 0,60 | 0,60 | 2008 | Gasolina C | 0,37 | 0,04 | 0,04 |
| | Álcool | 4,60 | 0,70 | 0,70 | | Flex-Gasol.C | 0,51 | 0,07 | 0,04 |
| 1996 | Gasolina C | 3,80 | 0,40 | 0,50 | Flex-Álcool | 0,71 | 0,05 | 0,05 | |
| | Álcool | 3,90 | 0,60 | 0,70 | Diesel | 0,30 | 0,06 | 0,75 | |
| 1997 | Gasolina C | 1,20 | 0,20 | 0,30 | 2009 | Gasolina C | 0,30 | 0,03 | 0,02 |
| | Álcool | 0,90 | 0,30 | 0,30 | | Flex-Gasol.C | 0,33 | 0,03 | 0,03 |
| 1998 | Gasolina C | 0,80 | 0,10 | 0,20 | Flex-Álcool | 0,56 | 0,03 | 0,03 | |
| | Álcool | 0,70 | 0,20 | 0,20 | 2010 | Gasolina C | 0,23 | 0,03 | 0,02 |
| 1999 | Gasolina C | 0,70 | 0,10 | 0,20 | | Flex-Gasol.C | 0,28 | 0,04 | 0,03 |
| | Álcool | 0,60 | 0,20 | 0,20 | Flex-Álcool | 0,51 | 0,09 | 0,04 | |
| 2000 | Gasolina C | 0,73 | 0,13 | 0,21 | 2011 | Gasolina C | 0,26 | 0,04 | 0,03 |
| | Álcool | 0,63 | 0,18 | 0,21 | | Flex-Gasol.C | 0,28 | 0,04 | 0,03 |
| 2001 | Gasolina C | 0,48 | 0,11 | 0,14 | Flex-Álcool | 0,49 | 0,09 | 0,03 | |
| | Álcool | 0,66 | 0,15 | 0,08 | | | | | |

Notas: ND – não disponível; Gasolina C – 78% gasolina + 22% álcool.

Fonte: Adaptado de <www.ibama.gov.br/areas-tematicas-qa/programa-proconve>.

Conclui-se que apesar das limitações do modelo de emissões IPEA/ANTP – o qual indica taxas de emissões em função da velocidade média apenas e está ajustado para carros à gasolina sem catalizador fabricados no início da década de 1990 –, ele implica em taxas absolutas de emissão razoavelmente corretas no caso de trajetos urbanos curtos com semáforos e paradas obrigatórias (MANZOLI, 2009) e em impactos relativos razoavelmente corretos no caso de medidas moderadas de tráfego (BOULTER, 1996, 2000). Pelo menos para o objetivo do presente estudo, o modelo IPEA/ANTP parece oferecer estimativas suficientemente precisas para avaliar o impacto ambiental de OT e REV.

3.4.5 Efeitos sobre o consumo de combustível

O consumo de combustível, assim como a emissão de poluentes, está relacionado à variação da velocidade e com uma diversidade de fatores técnicos e operacionais. Mas, diferentemente do caso da poluição do ar, o impacto da moderação de tráfego sobre o consumo de combustível é relativamente fácil de mensurar e está sujeito a uma variabilidade menor. Modelos de emissões indicam que OT aumentam o consumo de combustível de veículos a gasolina de 4 a 73% (vide Tabela 4). Como no caso das emissões de poluentes, não se tem conhecimento de modelos genuinamente brasileiros de consumo de combustível. IPEA e ANTP (1999), no entanto, adaptaram modelos estrangeiros à realidade brasileira a partir de dados de consumo de um veículo médio da cidade de São Paulo, e definiram a seguinte equação que relaciona o consumo de gasolina (G) de um automóvel, medido em litros/km, com a velocidade média (V), medida em km/h:

$$G = 0,09543 + \frac{1,26643}{V} - 0,00029 V \quad (6)$$

$$G = \frac{9.543}{10^5} + \frac{126.643}{10^5} \frac{1}{V} - \frac{29}{10^5} V$$

De acordo com a equação 17, o consumo de combustível é uma função decrescente da velocidade de tráfego (Figura 3). O modelo IPEA/ANTP de consumo de combustível implica em um consumo médio de 9,27 km/l à velocidade de 48 km/h, um consumo médio de 7,95 à velocidade de 32 km/h, e num impacto da redução de velocidade sobre o consumo de combustível de +17%, condizente com os valores encontrados por Boulter (1996).

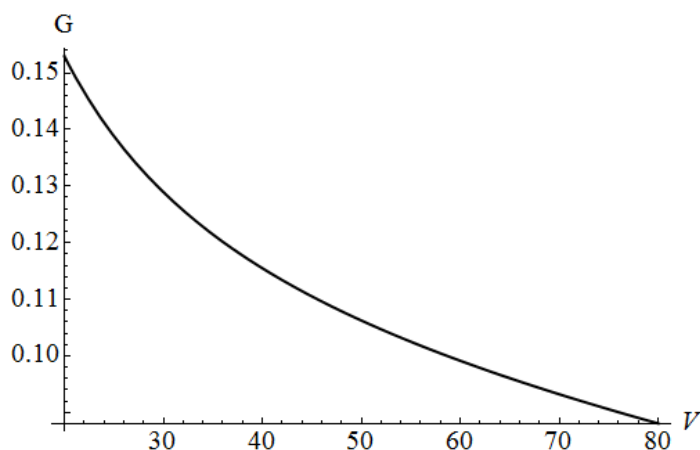


Figura 3 – Consumo de gasolina (l) em função da velocidade média (km/h)

Fonte: Elaboração própria a partir de IPEA e ANTP (1999).

3.4.6 Horizonte de planejamento

A duração dos efeitos de medidas de segurança viária está sujeita a grande incerteza (ELVIK; AMUNDSEN, 2000). No caso de dispositivos redutores de velocidade, Gitelman e Hakkert (2006) e Yannis et al. (2008), por exemplo, utilizam o período de 5 anos em suas ACB. Já Bishai e Hyder (2006) e Hooke, Knox e Portas (1996) utilizam um período de 10 anos. Elvik (2001a), por sua vez, chega a usar um horizonte temporal de 25 anos.

De acordo com Ferraz et al. (2012), a vida útil de um projeto de segurança no trânsito corresponde ao intervalo de tempo em que ocorrem os benefícios do projeto e deve ser definida com base na experiência de projetos semelhantes anteriormente implantados ou na experiência dos técnicos. No caso de intervenções de engenharia de tráfego, a vida útil adotada é igual à vida útil prevista para a obra civil ou ao período em que se prevê que ocorra uma nova intervenção no mesmo local. Considerando a incerteza das previsões de longo prazo, nos casos mais comuns de projetos de segurança viária que envolvam obras de construção civil de pequeno ou médio porte, a vida útil adotada na avaliação não deve superar cinco ou dez anos. O Ministério dos Transportes (MT, 2002) sugere, na ausência de especificações próprias em determinada cidade, uma vida útil de dez anos para projetos de tratamento de locais críticos.

Fatores que podem influenciar a vida útil dos dispositivos redutores de velocidade são necessidade de recapeamento da via, troca de componentes importantes nos dispositivos e a possibilidade de haver outras alterações maiores nas vias.

3.4.7 Taxa de desconto

Valores futuros são descontados a uma taxa de desconto na ACB por duas razões principais: o custo de oportunidade do capital e a preferência pelo tempo presente. Na prática, o custo de oportunidade do capital raramente é igual à taxa de preferência temporal, de modo que, no caso de um projeto público, não existe uma única taxa de desconto e o governo precisa tomar uma decisão sobre qual taxa utilizar. Ademais, evidências empíricas sobre as preferências temporais das pessoas e considerações sobre a incerteza sobre o futuro tem levado pesquisadores a argumentarem em favor do uso de taxas de desconto declinantes no tempo, em vez de uma única taxa de desconto. A prática mais comum tem sido utilizar uma taxa de desconto baseada no custo de capital ou, na ausência de um projeto privado comparável, uma taxa de desconto de referência (COMMONWEALTH OF AUSTRALIA, 2006).

A escolha de uma única taxa recomendada por órgãos oficiais facilita a comparação entre ACB de diferentes projetos. De acordo com Ferraz et al. (2012), na avaliação econômica de projetos de natureza pública, entre os quais os de segurança viária, tem sido utilizada internacionalmente uma taxa de desconto de 2–10% ao ano, sendo as taxas mais elevadas adotadas nos países não desenvolvidos. No Brasil, pode-se utilizar uma taxa de desconto de 6% ao ano. E apesar de o DNIT (2006) recomendar uma taxa de 12% ao ano para projetos de transporte, a taxa recomendada por Ferraz et al. (2012) parece mais razoável considerando que a taxa de juros de longo prazo (TJLP) da economia brasileira está em 5% ao ano em 2014.

3.4.8 Custo de implementação

Segundo Ferraz et al. (2012), projetos de segurança viária implicam, geralmente, em um custo inicial maior relativo à implementação e, em seguida, em custos menores de manutenção distribuídos ao longo da vida útil. O custo anual de manutenção pode ser estimado como uma porcentagem do custo de implantação, baseado na experiência de projetos similares. O Ministério dos Transportes (MT, 2002) sugere, preliminarmente, adotar um custo de manutenção anual de 3% do custo de implantação.

Rios e Pinheiro (2005) estimaram o custo de duas unidades consecutivas de OT-II em R\$ 3.462 (preços de agosto de 2003), sendo que este valor já incorpora a sinalização horizontal e vertical. Este total é baseado em um projeto de implementação em pista simples com duplo sentido de circulação e com largura de 7 m. Do custo total, R\$ 909 (26%) correspondem à

ondulação propriamente dita, R\$ 2.008 (58%) à sinalização vertical e R\$ 545 (16%) à sinalização horizontal. Atualizados monetariamente para janeiro de 2014 pelo IPCA-IBGE, estes valores equivalem a um custo total de R\$ 3.036 por OT-II de 7 m de largura e sinalização em ambos os sentidos, dos quais R\$ 797 seriam gastos pela ondulação propriamente dita, R\$ 478 pela sinalização horizontal e R\$ 1.762 pela sinalização vertical.

O processo licitatório 6.249/2012 da prefeitura do município de Araucária (PR), de junho de 2012, por sua vez, prevê um valor de R\$ 2.925 por OT-II e de R\$ 976 por OT-I, excluída a sinalização. Atualizados monetariamente para janeiro de 2014, estes valores equivalem a um custo de R\$ 1.075 por OT-I e de R\$ 3.222 por OT-II, sem considerar a sinalização horizontal e vertical. Se for adicionado o custo da sinalização, o custo total de uma OT-II pode chegar a R\$ 6.000 a preços de fevereiro de 2008 (FISCALIZAÇÃO..., 2008), o que equivale a R\$ 8.341 a preços de janeiro de 2014.

De acordo com um relatório de auditoria do Tribunal de Contas do Município do Rio de Janeiro (PAES et al., 2008), a Companhia de Engenharia de Tráfego do Rio de Janeiro mantinha dois contratos de prestação de serviços relacionados a REV em vigor em 2008. Um deles (contrato 17/2004), no valor de R\$ 7.684.699, refere-se à instalação de REV em 42 pontos ao longo do período de 17/6/2004 a 7/7/2008 (aprox. 48 meses), e prevê o pagamento de R\$ 54,30 por multa à empresa Perkons S.A. O outro (contrato 10/2006), no valor de R\$ 13.011.488, refere-se à instalação de REV em 36 pontos ao longo do período de 24/4/2006 a 8/9/2008 (aprox. 28 meses), e prevê o pagamento de R\$ 77,74 por multa ao consórcio Perkons-Route. Em ambos os contratos, a empresa contratada é responsável pela implantação e manutenção tanto dos REV quanto da sinalização horizontal e vertical. Em 2007, o total recebido pelas empresas contratadas foi de R\$ 5.564.881 por 102.484 multas emitidas a partir dos equipamentos do contrato 17/2004 e R\$ 3.434.475 por 44.179 multas emitidas a partir dos equipamentos do contrato 10/2006. Conclui-se assim, que os REV regidos por estes contratos tiveram um custo mensal de R\$ 3,8–13 mil por unidade relativo ao valor inicial do contrato e um custo mensal de R\$ 2,7–3,4 mil por unidade relativo à parcela das multas repassadas à empresa, a preços de 2007. O custo mensal total por unidade de REV ficou, portanto em R\$ 6,6 mil no contrato 17/2004 e em R\$ 16,3 mil no contrato 10/2006. Atualizados para janeiro de 2014, estes valores passam a ser de, respectivamente, R\$ 9,5 mil (R\$ 113 mil por ano) e R\$ 23,5 mil por mês (R\$ 281 mil por ano).

Esses valores estão de acordo com pronunciamentos públicos de autoridades municipais de trânsito. Segundo o diretor de tráfego da Secretaria dos Transportes de Maringá (PR),

Gilberto Pupur, o custo de um REV era de R\$ 150 mil em 2011 (LINJARDI, 2011), o que equivale a cerca de R\$ 170 mil a preços de janeiro de 2014. Supondo que este valor se refira ao custo anual, o custo mensal ficaria em aprox. R\$ 14 mil.

Segundo o coordenador de trânsito da prefeitura de Ijuí (RS), Ubiratan Erthal, o custo mensal de um REV era de R\$ 4,0–4,5 mil em fevereiro de 2011 (MUNICÍPIO DE IJUÍ, 2011), o que equivale a cerca de R\$ 4,7–5,3 mil a preços de janeiro de 2014. Considerando que estes valores são para uma faixa, a implementação de um REV em uma via padrão com duas faixas teria um custo de manutenção de R\$ 10 mil por mês (R\$ 120 mil por ano).

De acordo com informação obtida via e-mail da empresa Perkons S.A. em 12/2/2014, o preço médio referencial de mercado de um REV é de R\$ 3 mil por faixa monitorada por mês. De acordo com a mesma fonte, a locação seria a forma de comercialização mais comum atualmente, e o preço incluiria os serviços de obras civis de instalação, operação e manutenção dos equipamentos e processamento dos registros. No caso de uma via com duas faixas, ter-se-ia um custo de instalação nulo e um custo de manutenção de R\$ 6 mil por mês ou R\$ 72 mil por ano.

3.4.9 Valoração monetária dos efeitos

O custo de acidentes de trânsito foi estimado por Bastos (2011), Borba (2008), DNIT (2004), IPEA e ANTP (2003), IPEA, DENATRAN e ANTP (2006), Rosa (2006).

IPEA e ANTP (2003) estimam o custo dos acidentes de trânsito ocorridos em aglomerações urbanas por nível de severidade da lesão. Estas estimativas, avaliadas a preços de abril de 2003, correspondem a R\$ 144.478 por acidente com mortos, R\$ 17.460 por acidente com feridos e R\$ 3.262 por acidente sem vítima. O custo por vítima fatal é de R\$ 109.709 e o custo por vítima ferida de R\$ 14.233.

O custo total dos acidentes de trânsito estimado por IPEA e ANTP (2003) resulta do somatório de custos diretos (custos médico-hospitalares, resgate de vítimas, danos a veículos e a equipamentos urbanos, atendimento policial, processos judiciais, perda efetiva de produção etc.) e custos indiretos (perda potencial de produção e congestionamento decorrente dos acidentes) relacionados aos acidentes de trânsito envolvendo veículos que ocorreram em 49 aglomerações urbanas do Brasil. Custos humanos (sofrimento e perda, pela vítima e pelos seus próximos, de qualidade de vida) foram estimados pelos autores, mas não estão incluídos no

custo total pelo seu caráter intangível e pela sua dificuldade de mensuração. A unidade amostral básica adotada foi o veículo, não o acidente.

Devido ao subregistro de acidentes, a pesquisa se baseou no levantamento de informações sobre a ocorrência de acidentes por meio de uma amostragem aleatória de veículos existentes no Registro Nacional de Veículos Automotores do Departamento Nacional de Trânsito (Renavam) nas aglomerações urbanas de Belém, Recife, Porto Alegre e São Paulo. Os resultados desta pesquisa domiciliar – 4.123 domicílios foram visitados – foram extrapolados para as demais aglomerações urbanas com base no pressuposto de que os custos totais por veículo da frota são uniformes por região geográfica. Devido à raridade dos acidentes de trânsito nesta amostra aleatória, a pesquisa foi complementada por outra baseada no cadastro dos Boletins de Ocorrência da Polícia do município de São Paulo, em que foram selecionados 148 casos de acidentes com vítimas no município de São Paulo, das quais 51 com mortes, 38 com feridos graves e 59 com feridos leves. Para cada veículo amostrado, levantou-se o histórico dos acidentes em que ele esteve envolvido no ano de 2001 e os impactos resultantes. Os custos foram apropriados com base em valores médios de 2001 e atualizados pelos autores para abril de 2003 pelo IPCA-IBGE.

A quantificação dos custos e a análise de quase duas centenas de casos reais permitiu a definição de um modelo estatístico de custos por características gerais da vítima. Esse modelo dividiu os acidentados em duas categorias: sem internação e com internação. Os acidentados sem internação foram divididos por nível de gravidade, entre leves, moderados e graves, e pelo número de unidades topográficas anatômicas atingidas. Nos acidentados com internação, as variáveis explicativas do custo foram o número de dias de internação em enfermaria e o número de dias de internação em UTI. Para definir o nível de gravidade, foram adotados os seguintes critérios: número de dias de internação da vítima; realização de terapia após o acidente; sequelas deixadas pelo acidente. Quanto mais respostas negativas verificadas, mais leve o acidente foi considerado, e quanto mais respostas afirmativas constatadas, mais grave foi considerado o acidente.

Uma resenha internacional de valorações do tempo de percurso pode ser encontrada em Shires e Jong (2009). No que diz respeito ao Brasil, Brito (2007) e Rosa (2006) estimaram valores de R\$ 16,3 e US\$ 2,9 (R\$ 8,7) por hora, respectivamente, para o tempo de motoristas.

Enquanto Rosa (2006) converteu valores do tempo obtidos em estudo no Chile para reais, Brito (2007) estimou este valor a partir da técnica de preferência declarada por motoristas que se deslocavam entre cidades e optavam por rotas com pedágio ou sem pedágio. No total, foram

realizadas 8.256 entrevistas com motoristas localizados em 28 pontos da malha rodoviária de São Paulo.

Alternativamente, também é possível calcular o valor do tempo a partir da renda média. Por esse método, uma renda média anual de R\$ 12 mil equivale ao valor de R\$ 6,25 por hora.

Estimativas do valor da poluição do ar causada pelo transporte rodoviário no Brasil foram feitas por Motta e Mendes (1994), Motta, Ortiz e Ferreira (1998), Landmann, Ribeiro e Deák (2007), IPEA e ANTP (1999), Almeida (2011), Romero, Silva e Brasil (2004), Bastos (2011) e Borba (2008).

A metodologia que serve de referência para os projetos brasileiros é a de IPEA e ANTP (1999). Nela, os valores calculados para os custos dos danos da poluição do ar nas cidades americanas, em US\$ por kg de emissão de poluentes, aparecem convertidos em reais através de uma relação aproximada das rendas per capita brasileira e norte-americana. Estes valores são, a preços de janeiro de 1999: R\$ 0,19 por kg de monóxido de carbono (CO), R\$ 1,14 por kg de hidrocarbonetos (HC), R\$ 1,12 por kg de óxido de nitrogênio (NO_x).

De acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (SÍNTESE..., 2014), o preço ao consumidor médio da gasolina foi de R\$ 2,956 em janeiro de 2014. O preço da gasolina a custo de fatores pode ser obtido subtraindo de seu preço de mercado o valor de impostos indiretos e transferências, tal como recomendado por Ferraz et al. (2012). Rezende, Nakao e Abrão (2011) estimaram a carga tributária (inclusive transferências) da gasolina em 36,58% do seu preço de mercado no estado de São Paulo. A Federação Nacional do Comércio de Combustíveis e de Lubrificantes (FECOMBUSTÍVEIS, 2012), por sua vez, estimou este valor em 39% do preço de mercado em nível nacional. A mesma federação, no entanto, publica em seu site uma tabela de formação de preços da gasolina de acordo com a qual a média nacional da carga tributária dos impostos indiretos na gasolina foi de 33,76% em 9/11/2012 (TABELA..., 2012). Subtraindo 34% de impostos indiretos do preço médio ao consumidor, chega-se ao preço médio da gasolina a custo de fatores em janeiro de 2014: R\$ 1,95.

3.5 Análises custo-benefício de ondulações transversais e dispositivos de fiscalização eletrônica

Nesta seção são reportados os resultados de estudos que fizeram uma ACB de OT e dispositivos de fiscalização eletrônica. Intervenções cujo coeficiente benefício-custo (CBC)

seja maior que um, são consideradas viáveis. Os estudos existentes apontam para um CBC entre -8,75 e 17 para OT, com significativas diferenças por tipo de via, e entre 1,58 e 8,90 para radares fixos (vide Tabela 7). O radar fixo é o tipo de controlador eletrônico de velocidade para o qual existem estimativas do CBC que mais se aproxima do REV.

Tabela 7 – Coeficientes benefício-custo de intervenções de controle de velocidade

| Estudo | País | Intervenção | Observação | CBC |
|--------------------------------|------------------------------|-------------|---|-----------------------------|
| Gitelman e Hakkert (2006) | Israel | OT | Via urbana com limite de 50 km/h | 2-4 |
| Elvik (2001a) | Reino Unido | OT | Todos os tipos de vias Vias rurais Centros urbanos Áreas residenciais | 3,5 -0,36 1,8 9,72 |
| Elvik (2003) | Noruega | OT | Vias residenciais | -8,75 |
| Yannis e Evgenikos (2005) | Grécia | OT | Áreas residenciais, via de sentido único e uma faixa | 1,14-1,2 |
| FGSV (2001) e BAST (2003) | Alemanha | OT e outras | Áreas residenciais | 17 |
| Elvik e Amundsen (2000) | Suécia | OT e outras | Tratamento extensivo | -0,5 |
| Elvik (2001b) | Noruega | RF | Abordagem da economia do bem-estar Abordagem do valor de dissuasão Abordagem da ética normativa | 2,03 3,97 8,88 |
| Andersson (2003) e BAST (2003) | Suécia | RF | | 2,98 |
| Elvik (2003) | Suécia Noruega Noruega | RF | Uso ótimo Uso atual Uso ótimo | 1,6 8,9 4,75 |
| Hooke, Knox e Portas (1996) | Inglaterra | RF | | 4,17 |
| Elvik (2007) | Noruega Noruega | RF CS | | 2,11 1,58 |
| Chen e Warburton (2006) | Canadá | FE | | 5,21 |

Nota: OT – ondulações transversais; RF – radares fixos; CS – controles de seção; FE – fiscalização eletrônica.
Fonte: Elaboração própria.

Não foi encontrado nenhum estudo que tenha efetuado uma ACB especificamente para REV. O que há são análises de outros dispositivos de fiscalização eletrônica, tal como radares fixos e móveis. Observe-se, no entanto, que o caráter ostensivo do REV torna este dispositivo muito mais semelhante a uma OT em termos de seus efeitos sobre a velocidade e o número de acidentes do que a um radar.

É evidente a grande variedade de resultados encontrados. Como os CBC são calculados a partir de uma variedade de condições situacionais e locacionais, com diferentes metodologias, taxas de desconto, períodos de análise, tipologia de custos, qualidade dos dados etc., é de se esperar que estudos diferentes cheguem a resultados diferentes e até mesmo contraditórios (ELVIK, 2001a; ERSO, 2006).

Os resultados de Elvik (2001b) requerem alguns comentários. De acordo com este autor, a economia do bem-estar requer que todo efeito de uma ação – inclusive de uma medida de segurança viária – seja incluído na ACB se afetar a utilidade do indivíduo, isto é, as suas preferências. Desse modo, mesmo violações da lei devem ser incluídas na ACB como benefícios caso elevem a utilidade dos indivíduos afetados por determinada ação. Isso ocorre porque a teoria econômica não considera uma ação necessariamente errada simplesmente por ela ser ilegal. Ações ilegais podem resultar em benefícios à sociedade que mais que compensem os seus custos, caso em que deveriam ser legalizadas (ELVIK, 2001b).

Contudo, algumas ações ilegais são consideradas pela maioria das pessoas como incondicionalmente erradas, como no caso de assaltos violentos e homicídios, por exemplo. Incluir os benefícios para quem comete esses crimes na contabilização dos benefícios à sociedade seria absurdo. Além disso, no caso da violação de um limite de velocidade, os violadores estariam elevando o risco de acidente para os demais usuários da via que respeitam a lei. Ou seja, os motoristas que violam a lei estariam elevando a sua utilidade (redução do tempo de deslocamento) às expensas da utilidade dos motoristas que respeitam a lei (aumento do risco de acidente) (ELVIK, 2001b).

Ainda de acordo com Elvik (2001b), a ACB deve, em geral, ser realizada do ponto de vista da sociedade, e não do ponto de vista de um grupo social específico, como motoristas ou um departamento de transporte. Neste sentido, multas de trânsito podem ser vistas como simples transferências do setor privado ao setor público, caso em que não deveriam ser incluídas na ACB. Existe, contudo, uma interpretação alternativa das multas. Como uma multa é uma sanção com o objetivo de deter ou dissuadir violações da lei, ela pode ser interpretada como representativa do valor que a sociedade atribui à dissuasão. A dissuasão possui valor porque

quanto mais efetiva ela for, menor é a necessidade de policiamento. Desse ponto de vista, o valor das multas deveria ser incluído na ACB de algumas medidas de segurança viária como representativo do benefício da dissuasão (ELVIK, 2001b).

Segundo Elvik (2001b), dependendo do tratamento que se dá aos benefícios dos violadores da lei e aos gastos com multas, há três abordagens possíveis para a ACB do policiamento de trânsito – e que se aplicam a outras medidas de controle de velocidade: a abordagem da economia do bem-estar, que inclui os benefícios dos violadores da lei, mas não os benefícios da dissuasão (multas); a abordagem do valor de dissuasão, que inclui tanto os benefícios dos violadores da lei quanto os benefícios da dissuasão; e a abordagem da ética normativa, que não inclui nem os benefícios dos violadores da lei, nem os benefícios da dissuasão. Especificamente no caso de medidas de controle de velocidade, Elvik (2001b) mostra que a escolha da abordagem influencia fortemente os resultados da ACB, e que as medidas são menos custo-eficientes na abordagem da economia do bem-estar e mais custo-eficientes na abordagem da ética normativa. Ele também nota que, do ponto de vista dos violadores da lei – os motoristas que excedem a velocidade permitida – os benefícios do excesso de velocidade superam os seus custos.

Os estudos de Gitelman e Hakkert (2006), Yannis e Evgenikos (2005) e Elvik (2001a) efetuaram uma ACB especificamente para o caso de OT. Dada a associação destes estudos com o objetivo deste trabalho, cabe destacar aspectos metodológicos e os resultados encontrados pelos autores supramencionados, como está apresentado a seguir.

3.5.1 Gitelman e Hakkert (2006)

Gitelman e Hakkert (2006) fizeram uma ACB da implementação de cinco OT em um trecho de 500 m de uma via urbana com limite de velocidade de 50 km/h, localizada em Israel.

Os autores relatam que houve três acidentes com vítima neste trecho de via ao longo dos últimos três anos, sendo que um deles envolveu pedestres e os outros dois somente veículos. Aplicando pesos aos acidentes de acordo com a sua severidade – 5 para acidentes com vítima fatal ou lesão grave, 1 para acidentes que envolvam pedestres e 0,5 para acidente entre veículos somente – eles calculam o número de 0,67 acidentes ponderados por severidade por ano para o trecho de via analisado (Tabela 8).

Tabela 8 – Acidentes de trânsito com vítima, segundo a severidade do acidente, trecho de via urbana, Israel, 2003-2005

| Severidade do acidente | Peso | Acidentes com vítima nos últimos 3 anos | Acidentes com vítima ponderados |
|---------------------------------|------|---|---------------------------------|
| Com vítima fatal ou lesão grave | 5 | 0 | 0 |
| Com pedestre | 1 | 1 | 1 |
| Somente veículos | 0,5 | 2 | 1 |
| Soma | | 3 | 2 |
| Acidentes por ano | | 1 | 0,67 |

Fonte: Elaboração própria a partir de Gitelman e Hakkert (2006).

O efeito de segurança das OT foi estimado por Gitelman et al. (2001) a partir das OT implementadas em 94 ruas nas cidades israelenses de Tel-Aviv, Netanya e Haifa no período de 1994 a 1998. Com um valor médio de 0,603 e um intervalo de confiança de (0,440; 0,828), os autores assumiram que as OT implementadas em vias urbanas de Israel reduzem os acidentes com vítima em torno de 40% (Tabela 9).

Tabela 9 – Estimativa do efeito de segurança de OT, vias urbanas, Israel, 1994-1998

| Estimativa do efeito de segurança | Fator redutor de acidentes |
|---|----------------------------|
| Valor médio | 39,7% |
| Limite inferior do intervalo de confianças de 95% | 17,2% |
| Limite superior do intervalo de confianças de 95% | 56,0% |

Fonte: Elaboração própria a partir de Gitelman e Hakkert (2006).

O valor monetário dos acidentes foi estimado a partir dos custos típicos de lesões de trânsito utilizados em Israel: US\$ 500 mil por fatalidade, US\$ 50 mil por lesão grave e US\$ 5 mil por lesão leve. Os danos físicos foram estimados em 15% do custo das lesões. A partir do número médio de lesões por acidente em vias urbanas de Israel, observadas ao longo do período 1996-2000 – 0,01 lesão fatal, 0,11 lesão grave e 1,59 lesão leve – foi estimado o custo médio de um acidente com vítima em 89.114 New Israeli Shekel (NIS), a preços de 2000, quando um dólar americano correspondia a 4,2 NIS (Tabela 10).

Tabela 10 – Custo médio de acidentes de trânsito com vítima, por nível de severidade, Israel, 2000

| Severidade da lesão | Valor (US\$) | Número médio de lesões por acidente (1996-2000) | Custo médio de acidente com vítima (US\$) |
|---|--------------|---|---|
| Lesão fatal | 500.000 | 0,01 | 5.000 |
| Lesão grave | 50.000 | 0,11 | 5.500 |
| Lesão leve | 5.000 | 1,59 | 7.950 |
| Danos físicos (15% de lesões) | 83.250 | | 2.768 |
| Soma (US\$) | 638.250 | | 21.218 |
| Valor em NIS (preços de 2000; US\$ 1 = 4,2 NIS) | | | 89.114 |

Fonte: Elaboração própria a partir de Gitelman e Hakkert (2006).

A partir do número ponderado de acidentes com vítima por ano, do valor médio do fator redutor de acidentes e do custo médio de acidente de trânsito com vítima, os autores estimaram que o efeito de segurança das OT resulta em um benefício monetário de 23.585 NIS a preços de 2000 (Tabela 11).

Tabela 11 – Benefício anual do efeito de segurança da implementação de cinco OT em trecho de 500 m de via urbana em Israel

| Estatística | Valor |
|--|--------|
| Número ponderado de acidentes com vítima por ano | 0,67 |
| Valor médio percentual do fator redutor de acidentes | 40,0% |
| Custo médio de acidente de trânsito com vítima | 89.114 |
| Produto (NIS, preços de 2000) | 23.883 |

Fonte: Elaboração própria a partir de Gitelman e Hakkert (2006).

Além do efeito de segurança, os autores também estimaram o custo anual do efeito de mobilidade, isto é, o custo da perda de tempo resultante da redução de velocidade de tráfego provocada pelas OT. A estimativa foi obtida pelo produto entre o atraso médio por veículo (4 segundos), o volume de tráfego diário (8.000 veículos), o custo do atraso de um veículo que trafega em uma via local (3,96 NIS por hora) e do número de dias úteis do ano (Tabela 12). Os autores não discriminaram como os quatro segundos de atraso médio por veículo para o conjunto das cinco OT foi estimado.

Tabela 12 – Custo anual do efeito de mobilidade da implementação de cinco OT em um trecho de 500 m de via urbana em Israel

| Estatística | Valor |
|---|-------|
| Atraso médio por veículo (segundos) | 4 |
| Atraso médio por veículo (horas) | 0,001 |
| Volume de tráfego diário (veículos) | 8.000 |
| Custo do atraso em via local (NIS por hora e por veículo) | 3,96 |
| Dias úteis por ano (dias) | 260 |
| Custo anual do tempo perdido (NIS, preços de 2000) | 9.152 |

Fonte: Elaboração própria a partir de Gitelman e Hakkert (2006).

O custo de implementação das OT foi estimado em 3-6 mil NIS por unidade (a preços de 2000), o que corresponde a 15-30 mil NIS pelo conjunto das OT que foram analisadas. Os custos de manutenção foram supostos incorporados nos custos da manutenção rotineira da via (Tabela 13).

Tabela 13 – Custo de implementação de OT, vias urbanas, Israel

| Custo de implementação de OT | Valor (NIS, preços de 2000) |
|--|-----------------------------|
| Limite inferior para o custo de 1 unidade | 3.000 |
| Limite superior para o custo de 1 unidade | 6.000 |
| Limite inferior para o custo de 5 unidades | 15.000 |
| Limite superior para o custo de 5 unidades | 30.000 |

Fonte: Elaboração própria a partir de Gitelman e Hakkert (2006).

Do benefício anual do efeito de segurança os autores descontam o custo anual do efeito de mobilidade para determinar o benefício líquido anual de 14.731 NIS a preços de 2000. Considerando uma taxa de juros de 4% ao ano, os autores chegaram a um benefício líquido de 60.397 NIS para um período de 5 anos, o que implicaria um CBC entre 2,1 e 4,3, dependendo do custo de implementação da medida (Gitelman e Hakkert (2006) concluem que a implementação de OT parece ser custo-eficiente, mesmo após considerar o atraso proporcionado por elas – algo, segundo os autores, incomum em avaliações econômicas desses dispositivos. No entanto, eles advertem que a medida pode deixar de ser custo-eficiente sob determinadas condições de tráfego, como, por exemplo, em uma via com volumes mais elevados de tráfego.

Tabela 14).

Gitelman e Hakkert (2006) concluem que a implementação de OT parece ser custo-eficiente, mesmo após considerar o atraso proporcionado por elas – algo, segundo os autores, incomum em avaliações econômicas desses dispositivos. No entanto, eles advertem que a medida pode deixar de ser custo-eficiente sob determinadas condições de tráfego, como, por exemplo, em uma via com volumes mais elevados de tráfego.

Tabela 14 – ACB de cinco OT em trecho de 500 m de via urbana em Israel

| Estatística (unidade) | Valor |
|--|--------|
| Benefício anual do efeito de segurança (NIS, preços de 2000) | 23.883 |
| Custo anual do efeito de mobilidade (NIS, preços de 2000) | 9.152 |
| Benefício líquido em 1 ano (NIS, preços de 2000) | 14.731 |
| Taxa de desconto (% ao ano) | 4% |
| Benefício líquido em 5 anos (NIS, preços de 2000) | 60.397 |
| Limite inferior do CBC (5 unidades) | 2,1 |
| Limite superior do CBC (5 unidades) | 4,3 |

Fonte: Elaboração própria a partir de Gitelman e Hakkert (2006).

3.5.2 Yannis e Evgenikos (2005)

Yannis e Evgenikos (2005) fizeram uma ACB da implementação de 49 OT e de 100 mil m² de “woonerfs”¹⁰ em vias urbanas de faixa única ao longo do período 1991-1999, localizadas em Neo Psychiko, região metropolitana de Atenas, Grécia.

O efeito de segurança foi estimado usando a metodologia antes-depois com grupo de controle. O grupo de tratamento é o município de Neo Psychiko, e como grupo de controle foram escolhidos os municípios vizinhos de Holargos e Agia Paraskevi, que também ficam na região metropolitana de Atenas, na Grécia. Estes municípios foram escolhidos pela sua similaridade em termos de rede viária, densidade populacional, utilização do solo e volumes de tráfego. Considerando que o número de acidentes caiu 8,3% no grupo de tratamento entre os períodos 1985-1990 e 1994-1999, e aumentou 47,5% no grupo de controle nos mesmos períodos, os autores estimaram que houve uma redução média de 37,9% no número de acidentes em virtude do programa de moderação de tráfego (Os efeitos observados foram ponderados

¹⁰ “Woonerf” é uma palavra holandesa que consiste em um conjunto de medidas moderadoras de tráfego instaladas em uma via urbana de uso compartilhado para carros, bicicletas e pedestres, com prioridade para os dois últimos grupos de usuários, e em que a velocidade máxima permitida não passa de 30 km/h.

pelas razões de chances (“odds ratios”) do número de acidentes que ocorreram antes e após o tratamento, tanto no grupo de tratamento quanto no grupo de controle.

Tabela 15).

Os efeitos observados foram ponderados pelas razões de chances (“odds ratios”) do número de acidentes que ocorreram antes e após o tratamento, tanto no grupo de tratamento quanto no grupo de controle.

Tabela 15 – Estimativa do efeito de segurança de OT e “woonerfs”, região metropolitana de Atenas, Grécia, 1991-1999

| Estatística | Grupo de tratamento | Grupo de controle |
|---|---------------------|-------------------|
| Acidentes antes (1985-1990) | 36 | 101 |
| Acidentes após (1994-1999) | 33 | 149 |
| Variação | -8,3% | 47,5% |
| Fator modificador de acidentes (efeito médio ponderado) | | 0,621 |
| Limite inferior do intervalo de confiança de 95% | | 1,061 |
| Limite superior do intervalo de confiança de 95% | | 0,363 |
| Fator redutor de acidentes (efeito médio ponderado) | | 37,9% |

Fonte: Elaboração própria a partir de Yannis e Evgenikos (2005).

A partir do número de acidentes com vítima no período anterior à implementação das medidas moderadoras de tráfego (1985-1990) e do fator redutor de acidentes, é possível calcular o número de acidentes com vítima evitados pelo tratamento. Para valorar monetariamente estes acidentes, os autores estimaram o custo médio de um acidente de trânsito, ponderado pela participação dos acidentes no total por nível de severidade da lesão. A preços de 1999, os valores obtidos foram de aproximadamente € 1,1 milhão por lesão fatal, € 510 mil por lesão grave e € 230 mil por lesão leve (Tabela 16). O valor do efeito de segurança das OT e “woonerfs” foi, assim, estimado em cerca de € 3,8 milhões, a preços de 1999 (Tabela 17).

Tabela 16 – Custo de acidentes de trânsito, por severidade da lesão, Grécia

| Custo de acidentes | Lesão fatal | Lesão grave | Lesão leve |
|--|-------------|-------------|------------|
| Dano material (€, preços de 1999) | 28.769 | 18.175 | 13.904 |
| Custo generalizado (€, preços de 1999) | 442.467 | 23.907 | 6.960 |
| Custo humano (€, preços de 1999) | 612.141 | 467.703 | 206.340 |
| Soma | 1.083.377 | 509.785 | 227.204 |
| Proporção dos acidentes em áreas urbanas | 3,70% | 9,11% | 87,19% |
| Custo médio ponderado | | 284.667 | |

Fonte: Elaboração própria a partir de Yannis e Evgenikos (2005).

Tabela 17 – Benefício anual devido ao efeito de segurança de OT e “woonerfs”, região metropolitana de Atenas, Grécia, 1991-1999

| Estatística | Valor |
|---|-----------|
| Número de acidentes com vítima antes do tratamento | 36 |
| Estimativa pontual do efeito de segurança | 37,9% |
| Valor médio de acidente com vítima (€, preços de 1999) | 284.667 |
| Benefício anual devido ao efeito de segurança (€, preços de 1999) | 3.985.333 |

Fonte: Elaboração própria a partir de Yannis e Evgenikos (2005).

Assim como Gitelman e Hakkert (2006), Yannis e Evgenikos (2005) também descontaram do benefício do efeito de segurança o custo do efeito de mobilidade devido ao atraso provocado pelas medidas moderadoras de tráfego. Considerando que o atraso médio de quem passa pela área tratada é de 60 segundos por veículo, que o tráfego diário médio é de 8.680 veículos, e que a hora-veículo é estimada em € 4,50 (a preços de 1999), o custo anual do efeito de mobilidade pode ser estimado em € 180.544 a preços de 1999 (Tabela 18).

Tabela 18 – Custo anual devido ao efeito de mobilidade de OT e “woonerfs”, região metropolitana de Atenas, Grécia, 1991-1999

| Estatística (unidade) | Valor |
|---|---------|
| Atraso médio em segundos (segundos/veículo) | 60 |
| Atraso médio em horas (horas/veículo) | 0,02 |
| Tráfego diário médio (veículos) | 8.680 |
| Valor médio do tempo (€/hora/veículo, preços de 1999) | 4,50 |
| Dias úteis por ano (dias) | 260 |
| Custo devido às perdas de tempo (€/ano, preços de 1999) | 180.544 |

Fonte: Elaboração própria a partir de Yannis e Evgenikos (2005).

O custo de implementação das OT e “woonerfs” foi obtido pelos autores do poder público do município de Neo Psychiko. A preços de 1999, as 49 unidades de OT custaram cerca de € 116 mil, o que implica um custo de aproximadamente € 2.400 por unidade. A implementação dos 100 mil m² de “woonerfs”, por sua vez, custou cerca de € 3,2 milhões a preços de 1999, implicando em um preço por m² de € 32 (Tabela 19).

Tabela 19 – Custo de implementação de OT e “woonerfs”, região metropolitana de Atenas, Grécia, 1991-1999

| Custo de implementação | €, preços de 1998 | €, preços de 1999 |
|------------------------------------|-------------------|-------------------|
| OT (49 unidades) | 111.518 | 115.979 |
| OT (1 unidade) | 2.276 | 2.367 |
| Woonerfs (100,000 m ²) | 3.081.438 | 3.204.696 |
| Woonerfs (m ²) | 31 | 32 |
| Total | 3.192.956 | 3.320.674 |

Fonte: Elaboração própria a partir de Yannis e Evgenikos (2005).

Considerando uma taxa de juros de 4% ao ano e um horizonte de planejamento de um ano, os autores relatam um CBC de 1,14 para o conjunto de medidas moderadoras de tráfego compostas por OT e “woonerfs” (Tabela 20).

Tabela 20 – ACB de OT e “woonerfs”, região metropolitana de Atenas, Grécia, 1991-1999

| Estatística (unidade) | Valor |
|--|-----------|
| Benefício anual de segurança (€, preços de 1999) | 3.985.333 |
| Custo anual de tempo (€, preços de 1999) | 180.544 |
| Benefício anual líquido (€, preços de 1999) | 3.804.789 |
| Taxa de desconto (% ao ano) | 4% |
| CBC (1 ano) | 1,14 |

Fonte: Elaboração própria a partir de Yannis e Evgenikos (2005).

Yannis e Evgenikos (2005) concluem que a implementação de OT e “woonerfs” em áreas urbanas é custo-eficiente quando considerados o efeito de segurança e o efeito de mobilidade, apesar dos custos elevados dos “woonerfs”. Boa parcela dos custos é devida a uma particularidade do sistema de licitação do projeto na indústria de construção grega, e à pouca experiência que o município tratado tinha na implementação de medidas de moderação de tráfego. A inclusão do efeito de mobilidade na análise parece influenciar pouco o resultado.

3.5.3 Elvik (2001a)

Elvik (2001a) faz uma ACB de medidas redutoras de velocidade implementadas em áreas extensas em cidades da Grã-Bretanha. Os seus dados são baseados em uma nota não publicada, preparada em 1998 por D. J. Finch para o Transport Research Laboratory, no âmbito do projeto Promotion of Measures for Vulnerable Road Users (PROMISING).

O autor apresenta dados do efeito das medidas redutoras de velocidade sobre a velocidade e o volume de tráfego segregados para centros de cidades, áreas residenciais e vias rurais principais. A maior redução média de velocidade é verificada nos centros de cidade (36%) e nas áreas residenciais (34%), assim como ocorre com o volume de tráfego, o qual foi reduzido em 18% nas áreas residenciais e em 9% nos centros de cidade (Tabela 21).

Tabela 21 – Efeito de medidas redutoras de velocidade de amplo alcance sobre a velocidade e o volume de tráfego, Grã-Bretanha, 199-?

| Estatística (unidade de medida) | Centro de cidade | Via rural principal | Área residencial |
|--|------------------|---------------------|------------------|
| Velocidade média anterior (km/h) | 51,5 | 69,5 | 57,3 |
| Velocidade média posterior (km/h) | 33,0 | 55,5 | 37,8 |
| Redução média da velocidade (%) | 36% | 20% | 34% |
| Volume de tráfego anterior (veículos por dia) | 102.400 | 176.800 | 207.000 |
| Volume de tráfego posterior (veículos por dia) | 93.000 | 175.000 | 170.000 |
| Redução média no volume de tráfego (%) | 9% | 1% | 18% |

Fonte: Elaboração própria a partir de Elvik (2001a).

O efeito de segurança da implementação das medidas redutoras de velocidade, por sua vez, foi uma redução entre 53% em vias rurais principais e 68% em áreas residenciais (última linha da Tabela 22). O autor argumenta que reduções desta ordem não são implausíveis, e que podem ser estimadas com boa acurácia pelo uso do modelo de potência. De acordo com este modelo, espera-se que uma redução de 36% na velocidade média resulte em uma redução de 59% no número de acidentes (primeira linha da Tabela 22):

$$1 - (1 - 0,36)^2 = 1 - 0,64^2 = 1 - 0,41 = 59\% .$$

Além disso, uma redução de 9% no volume de tráfego, elevaria esta redução para 63% (segunda linha da Tabela 22):

$$1 - 0,41 \times (1 - 0,09) = 1 - 0,37 = 63\% .$$

Com base neste raciocínio, o autor argumenta que as reduções observadas no número de acidentes com vítima foram causadas principalmente pela redução da velocidade de tráfego ocasionado pelas medidas de moderação de tráfego.

Tabela 22 – Efeito estimado e observado de medidas redutoras de velocidade de amplo alcance sobre o número de acidentes com vítima, Grã-Bretanha, 199-?

| Número de acidentes com vítima | Centro de cidade | Via rural principal | Área residencial |
|--|------------------|---------------------|------------------|
| Redução estimada devido à redução da velocidade (%) | 59% | 36% | 56% |
| Redução estimada devido à redução da velocidade e do volume de tráfego (%) | 63% | 37% | 64% |
| Redução observada (%) | 64% | 53% | 68% |

Fonte: Elaboração própria a partir de Elvik (2001a).

Devido à implementação das medidas redutoras de velocidade de amplo alcance em cidades da Grã-Bretanha ao longo da década de 1990 (?), foram evitados 53 acidentes de trânsito em centros de cidades, 34 em vias rurais principais e 145 em áreas residenciais (Tabela 23). Sendo o custo médio de um acidente com vítima de £ 43.550 a preços de 1997, o benefício anual devido ao efeito de segurança foi estimado em cerca de £ 2,3 milhões (a preços de 1997) para centros de cidade, £ 1,5 milhões para vias rurais principais e £ 6,3 milhões para áreas residenciais. Elvik (2001a) calcula o mesmo benefício para um período de 25 anos considerando uma taxa de desconto de 5% ao ano.

Tabela 23 – Benefício do efeito de segurança de medidas redutoras de velocidade de amplo alcance, Grã-Bretanha, 199-?

| Estatística (unidade de medida) | Centro de cidade | Via rural principal | Área residencial |
|---|------------------|---------------------|------------------|
| Número de acidentes com vítima evitados (acidentes por ano) | 53 | 34 | 145 |
| Custo médio de um acidente com vítima evitado (£, preços de 1997) | 43.550 | 43.550 | 43.550 |
| Benefício anual devido ao efeito de segurança (£, preços de 1997) | 2.308.150 | 1.480.700 | 6.314.750 |
| Benefício em 25 anos (£, preços de 1997; taxa de desconto de 5%) | 33.350.000 | 21.400.000 | 91.260.000 |

Fonte: Elaboração própria a partir de Elvik (2001a).

Assim como Gitelman e Hakkert (2006) e Yannis e Evgenikos (2005), Elvik (2001a) também descontou do benefício do efeito de mobilidade o custo do efeito de mobilidade para

obter uma medida do efeito líquido das medidas redutoras de velocidade. Partindo de um custo do tempo de £ 4,2 por hora, a preços de 1997, e de um atraso médio, por veículo, de 13,1 segundos em vias rurais principais, 32,4 segundos em áreas residenciais e 39,2 segundos em centros de cidade, o autor estima que o custo anual do efeito de mobilidade seja de £ 1,0 milhão a 2,4 milhões (a preços de 1997). A uma taxa de desconto de 5% ao ano, isto equivale a cerca £ 33 milhões em 25 anos, no caso das áreas residenciais (Tabela 24).

Tabela 24 – Custo do efeito de mobilidade de medidas redutoras de velocidade de amplo alcance, Grã-Bretanha, 199-?

| Estatística (unidade de medida) | Centro de cidade | Via rural principal | Área residencial |
|--|------------------|---------------------|------------------|
| Valor do tempo de percurso (£/hora, preços de 1997) | 4,2 | 4,2 | 4,2 |
| Dias de viagem por ano (dias) | 365 | 365 | 365 |
| Atraso médio em segundos (segundos/veículo) | 39,2 | 13,1 | 32,4 |
| Custo anual do efeito de mobilidade (£, preços de 1997) | 1.552.996 | 973.078 | 2.342.123 |
| Custo em 25 anos (£, preços de 1997; taxa de desconto de 5%) | 21.900.000 | 21.930.000 | 53.250.000 |

Fonte: Elaboração própria a partir de Elvik (2001a).

Além do efeito do atraso proporcionado pelas medidas redutoras de velocidade (aqui chamado de efeito de mobilidade), o autor desconta do benefício do efeito de segurança um segundo efeito: a perda do excedente do consumidor referente à locomoção. Este foi calculado a partir da redução do volume de tráfego observado em cada tipo de área (central, rural, residencial), a qual chegou a 37 mil veículos nas áreas residenciais (Tabela 25), do número de dias de viagem por ano (365), do atraso médio por veículo (32,4 segundos) e do valor do tempo perdido devido à velocidade de tráfego mais baixa (£ 4,2 por hora):

$$37.000 \times 365 \times \frac{32,4}{3600} \times 4,2 = 510.489 .$$

Tabela 25 – Custo da perda do excedente do consumidor de medidas redutoras de velocidade de amplo alcance, Grã-Bretanha, 199-?

| Estatística (unidade de medida) | Centro de cidade | Via rural principal | Área residencial |
|--|------------------|---------------------|------------------|
| Redução no volume de tráfego (veículos) | 9.400 | 1.800 | 37.000 |
| Custo anual (£, preços de 1997) | 156.911 | 10.041 | 510.489 |
| Custo em 25 anos (£, preços de 1997; taxa de desconto de 5%) | 2.415.000 | 460.000 | 9.300.000 |

Fonte: Elaboração própria a partir de Elvik (2001a).

O custo de implementação das medidas de engenharia de trânsito analisadas por Elvik (2001a) foi de aproximadamente £ 4,9 milhões nas áreas centrais, £ 2,8 milhões nas vias rurais e £ 3,0 milhões nas áreas residenciais. A partir dos efeitos de segurança, de mobilidade, e de redução do excedente do consumidor, calculados para o período de 25 anos, o autor chega ao efeito líquido das medidas redutoras de velocidade – ou benefício líquido, já que o efeito é positivo – e ao CBC para cada uma das áreas consideradas. De acordo com os resultados do autor, o CBC varia de -0,36 em vias rurais principais a 9,72 em áreas residenciais, sendo de 1,84 em centros de cidades (Tabela 26).

Tabela 26 – Análise custo-benefício de medidas redutoras de velocidade de amplo alcance, Grã-Bretanha, 199-?

| Estatística (unidade) | Centro de cidade | Via rural principal | Área residencial |
|--|------------------|---------------------|------------------|
| Benefício do efeito de segurança em 25 anos (£, preços de 1997) | 33.350.000 | 21.400.000 | 91.260.000 |
| Custo do efeito de mobilidade em 25 anos (£, preços de 1997) | 21.900.000 | 21.930.000 | 53.250.000 |
| Custo da perda do excedente do consumidor em 25 anos (£, preços de 1997) | 2.415.000 | 460.000 | 9.300.000 |
| Benefício líquido em 25 anos (£, preços de 1997) | 9.035.000 | -990.000 | 28.710.000 |
| Custo de implementação (£, preços de 1997) | 4.910.000 | 2.785.000 | 2.955.000 |
| CBC | 1,84 | -0,36 | 9,72 |

Fonte: Elaboração própria a partir de Elvik (2001a).

A conclusão do estudo é que a custo-efetividade das medidas moderadoras de tráfego depende das características do local em que elas são implementadas. Pode se dizer que elas são muito mais custo-eficientes em áreas residenciais do que em centros urbanos ou vias rurais principais. No entanto, o autor realça a necessidade de aprimorar as ACB levando em

consideração (1) a severidade dos acidentes, (2) valores do tempo diferenciados por localidade ou tipo de veículo, (3) os benefícios da menor velocidade e do menor volume de tráfego para os demais usuários da via (passantes não motorizados e residentes, sobretudo), e (4) o benefício da redução de ruído e de poluição.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Análise custo-benefício

Para calcular o impacto de um projeto sobre um grupo de pessoas, os ganhos e as perdas individuais precisam ser agrupadas de algum modo. O critério de Pareto atribui um valor infinito a qualquer perda e um valor finito a qualquer ganho, o que o torna um critério de pouca utilidade prática, como dito anteriormente. A pergunta é como agregar perdas e ganhos de diferentes pessoas se a utilidade das pessoas não é mensurável e, portanto, não pode ser comparada (ZERBE; BELLAS, 2006).

Seguindo a abordagem de Zerbe e Bellas (2006), suponha-se que a utilidade fosse mensurável e os níveis de utilidade de todos os membros da sociedade fossem conhecidos. Neste caso, o efeito marginal de um projeto sobre o bem-estar social, dW , seria dado por

$$dW = \sum_{i=1}^N \frac{\partial W}{\partial U_i} dU_i, \quad (7)$$

em que dU_i é a variação de utilidade da pessoa i , $(\partial W/\partial U_i)$ é a derivada parcial da função de bem-estar social com respeito à utilidade do indivíduo i .

Assumido que as pessoas maximizam a sua utilidade, a variação da utilidade da pessoa, dU_i , pode ser reescrita como

$$dU_i = \sum \frac{\partial U}{\partial x_i} dx_i = \sum \lambda P_i dx_i = \lambda \sum P_i dx_i = \lambda \cdot NB_i, \quad (8)$$

em que dx_i é a variação da quantidade de bens consumida pela pessoa i , $(\partial U/\partial x_i)$ é a derivada parcial da função de utilidade individual com respeito à quantidade de bens consumida pelo indivíduo i , λ é a utilidade marginal da renda, P_i é o vetor de preços referentes à cesta de consumo. A soma do produto entre os preços e as variações nas quantidades consumidas, $\sum P_i dx_i$, é o valor dos benefícios líquidos que o projeto gera para o indivíduo, NB_i .

Substituindo (8) em (7), a variação do bem-estar social, dW , pode ser descrita por

$$dW = \sum_{i=1}^N \frac{\partial W}{\partial U_i} \lambda_i NB_i. \quad (9)$$

Ou seja, o efeito de um projeto sobre o bem-estar social depende do peso atribuído pela sociedade às pessoas afetadas $(\partial W/\partial U_i)$, da utilidade marginal da renda de cada indivíduo (λ_i) e dos benefícios líquidos obtidos por cada indivíduo (NB_i) .

De acordo com Zerbe e Bellas (2006), enquanto não houver consenso sobre os pesos sociais a atribuir a diferentes pessoas, a solução adotada na ACB é atribuir o mesmo peso a todas as pessoas ($\partial W/\partial U_i = 1$), de modo que a expressão anterior pode ser simplificada para

$$dW = \sum_{i=1}^N \lambda_i NB_i. \quad (10)$$

Por fim, ainda que o pressuposto mais comum na ciência econômica a respeito da utilidade marginal da renda seja ela ser decrescente com o aumento da renda, a abordagem padrão na ACB é assumir que ela seja igual para todas as pessoas, o que permite simplificar a equação anterior ainda mais ($\lambda_i = \lambda = 1$) (ZERBE; BELLAS, 2006):

$$dW = \sum_{i=1}^N NB_i. \quad (11)$$

Nesta versão simplificada, o bem-estar social aumenta desde que a soma dos benefícios líquidos individuais seja positiva. Isto é, de acordo com este critério, também chamado de critério de Kaldor-Hicks (KH), um projeto é economicamente desejável caso possua benefícios líquidos positivos. Ou, na formulação de Kaldor, um projeto é aceitável quando os ganhadores poderiam, hipoteticamente, compensar os perdedores do projeto.

Vale notar que o critério KH, que fundamenta a ACB convencional, ignora tanto os efeitos redistributivos de um projeto quanto a legalidade e o julgamento ético dos direitos pré-existentes. Na verdade, ao assumir uma utilidade marginal da renda constante, tende a privilegiar projetos que beneficiem preponderantemente segmentos sociais com maior poder aquisitivo em detrimento de projetos que beneficiem preponderantemente segmentos sociais com menor poder aquisitivo. Isto ocorre porque os indivíduos com maior renda/riqueza possuem DAP maiores pelos benefícios oriundos do projeto do que os indivíduos com menor renda/riqueza.

A existência de incerteza quanto ao futuro, oportunidades de investimento, benefícios que ativos podem proporcionar a seu detentor em momentos especiais e a característica das pessoas de serem impacientes em algum grau, justifica a necessidade de descontar ou “reduzir” o valor de custos e benefícios dependendo de quão distante no tempo eles ocorrem. De acordo com Zerbe e Bellas (2006), a técnica mais comum é o desconto exponencial, em que se usa uma taxa de desconto (ou de juros) r para calcular o fator de desconto d_n para um fluxo de caixa que ocorre daqui a n períodos:

$$d_n = \frac{1}{(1+r)^n}. \quad (12)$$

Esta equação mostra que o fator de desconto é uma função inversa da taxa de juros (real) e do tempo.

A inflação não é considerada nos estudos de avaliação econômica, pois supõe-se que ela afete igualmente custos e benefícios e que a taxa de desconto seja igual à taxa de juros real. Por isso, tanto custos quanto benefícios previstos para ocorrer em períodos futuros devem ser avaliados com base nos preços em vigor no momento da avaliação. É recomendável, no entanto, corrigir os preços de mercado para compensar impostos, subsídios e eventuais distorções do mercado, ainda que isto geralmente não afete substancialmente os resultados da análise (FERRAZ et al., 2012).

O valor presente líquido (VPL) de um projeto é a soma dos valores presentes dos benefícios líquidos oriundos do projeto ao longo de sua vida útil T :

$$VPL = \sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^T \frac{NB_t}{(1+r)^t}, \quad (13)$$

em que B_t , C_t e NB_t são, respectivamente, os benefícios, os custos e os benefícios líquidos do projeto no período t . Caso o VPL seja positivo, o projeto é economicamente desejável e, caso seja negativo, o projeto é indesejável. Projetos mutuamente exclusivos com VPL superior são preferíveis aos projetos com VPL inferior.

O valor presente de uma série uniforme de pagamentos no valor de A por T períodos pode ser calculado pela fórmula

$$VP = A \frac{1 - (1+r)^{-T}}{r}, \quad (14)$$

em que se supõe que os pagamentos sejam realizados no final de cada período.

Além do VPL, também se pode utilizar o coeficiente benefício-custo (CBC) para decidir a respeito da viabilidade de um projeto, o qual é dado por

$$CBC = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}}. \quad (15)$$

Se o CBC for superior a um, o projeto é viável, o que equivale à regra de decisão do VPL. A vantagem do CBC em relação ao VPL é que ele oferece uma medida do quanto os benefícios superam os custos. Por exemplo, um projeto com um CBC de 1,2 gera benefícios 20% superiores aos custos. A desvantagem do CBC em relação ao VPL é que ele não permite escolher entre projetos mutuamente excludentes que possuam custos diferentes. Neste caso, o projeto com CBC mais alto não é necessariamente aquele com VPL mais alto. Além disso, o

valor do CBC pode ser alterado ligeiramente pela renomeação de custos como benefícios negativos ou de benefícios como custos negativos. Caso todos os impactos, sejam eles positivos ou negativos, sejam contabilizados como benefícios – positivos e negativos, respectivamente – com exceção do custo de implementação, contabilizado como custo de capital, o CBC não está restrito aos números estritamente positivos, podendo assumir valores negativos ou nulo. Um CBC negativo significa que o projeto analisado produz benefícios líquidos negativos em magnitude superior ao custo de capital do projeto.

De acordo com Commonwealth of Australia (2006), o método mais correto de estimar o CBC é considerando como custo somente o custo de capital, e como benefícios negativos todos os demais custos. Apesar de suas limitações, o CBC pode complementar o critério do VPL quando há restrição de capital, caso em que os projetos devem ser realizados em ordem decrescente de CBC até atingir o limite da restrição de capital. Ainda assim, esta regra não é válida no caso de projetos mutuamente excludentes, caso em que a escolha deve recair sobre o conjunto de projetos cuja soma de VPL seja o maior possível dentro da restrição de capital (PEARCE; ATKINSON; MOURATO, 2006).

Uma terceira medida para avaliar um projeto é a taxa interna de retorno (TIR), conceituada como a taxa de juros que gera um VPL nulo, ou seja:

$$\sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1 + r_{TIR})^t} = 0. \quad (16)$$

Se a TIR for superior à taxa mínima de atratividade (TMA), o projeto é considerado economicamente viável. O método da TIR possui algumas desvantagens: a TIR pode não ser única caso o fluxo de benefícios líquidos mude de sinal mais de uma vez; o método assume que os retornos são reinvestidos à TIR; um projeto com TIR superior à TMA pode resultar em VPL negativo no caso de fluxos incomuns de benefícios líquidos; o método não permite comparar projetos. Apesar destas desvantagens, a TIR possui apelo intuitivo e pode ser modificada para gerar resultados corretos.

Por fim, um projeto pode ser avaliado com base no seu período de retorno (“payback”), isto é, no período em que o investimento realizado é recuperado integralmente:

$$\sum_{t=0}^{T_{PB}} \frac{B_t - C_t}{(1 + r)^t} = 0, \quad (17)$$

em que T_{PB} é o tempo necessário à recuperação do investimento. De acordo com este critério, se o período de retorno for inferior à vida útil do projeto, o mesmo é considerado viável.

Em geral, o critério mais confiável para a escolha entre alternativas de investimento é o VPL, ainda que em casos específicos outros indicadores possam complementar a análise (COMMONWEALTH OF AUSTRALIA, 2006; ELIASSON; LUNDBERG, 2010; PEARCE; ATKINSON; MOURATO, 2006).

4.1.1 Etapas

De acordo com Zerbe e Bellas (2006), a ACB envolve as seguintes etapas.

- 1) Definição da perspectiva da análise e de quem são os custos e os benefícios considerados na análise. É preciso ser explícito sobre quais benefícios e custos serão incluídos na análise e sobre quais são os grupos afetados, indicando possíveis impactos não considerados na análise. A perspectiva frequentemente é de alguma agência governamental ou da população como um todo; neste último caso, a perspectiva é denominada social.
- 2) Identificação dos projetos e das alternativas consideradas, e também da situação que servirá de base de comparação. Frequentemente, a base de comparação é a situação “tal como está”, isto é, a adoção de nenhum dos projetos propostos.
- 3) Explicitação dos pressupostos e das bases de cálculo, com citação de fontes confiáveis, se possível. Recomenda-se indicar de onde e como foram obtidas as informações sobre os parâmetros e as fórmulas utilizadas na análise.
- 4) Identificação e quantificação, se possível, dos impactos potenciais de cada projeto e da base de comparação. Todos os impactos potenciais devem ser indicados, ainda que não possam ser quantificados. Impactos em mercados secundários devem ser desconsiderados, como é o caso da demanda derivada por televisores que a eletrificação de determinada região cria.
- 5) Valoração monetária dos impactos. Sempre que possível, preços de mercado devem ser utilizados na valoração. No caso de insumos e impactos para os quais não há um mercado, a abordagem de preços-sombra pode ser utilizada, como ocorre na valoração da vida, do tempo e da qualidade do ar, por exemplo. Frequentemente, são utilizadas estimativas fornecidas por estudos de terceiros.
- 6) Tratamento explícito dos impactos não quantificáveis ou não monetizáveis, com indicação de como o valor de tais impactos poderia afetar a análise.
- 7) Desconto de valores futuros à determinada taxa de juros. Costuma-se utilizar taxas recomendadas por órgãos públicos ou institutos de pesquisa. Há relevante controvérsia

sobre a influência da escolha da taxa de juros adequada sobre a viabilidade de projetos sociais.

- 8) Identificação e tratamento de fatores de risco e de incerteza. Uma forma de proceder é realizar uma análise de sensibilidade, em que os valores de alguns parâmetros são alterados para saber o quanto o resultado da análise é afetado por tais parâmetros. Comumente, são adotados valores mínimos, máximos e médios ou intermediários para os parâmetros de modo que o leitor tenha uma ideia da estabilidade do resultado em relação à possível inexatidão dos parâmetros. A análise de sensibilidade pode ser implementada variável por variável ou pela adoção de cenários. Outra possibilidade para lidar com a incerteza é a simulação. Fatores de risco não quantificáveis devem ser indicados e discutidos. A incerteza refere-se tanto à inexatidão dos dados quanto à imprevisibilidade de eventos futuros.
- 9) Comparação de benefícios e custos. O resultado final da análise costuma incluir os benefícios líquidos mensurados em moeda corrente ou coeficientes benefício-custo que indiquem se determinado projeto é desejável ou se é preferível a outro projeto.
- 10) Condução de uma análise pós-projeto, buscando oferecer uma estrutura de análise para o gerenciador de projetos para a análise posterior à implementação do projeto. O executor da ACB deve auxiliar o gerenciador de projeto a avaliar corretamente os resultados efetivamente alcançados após a implementação do projeto, e a compará-los com os resultados previstos pela ACB.

4.2 Visão geral dos procedimentos adotados

O produto final do objetivo específico (1) foi um conjunto de equações que forneçam o VPL para cada uma das três intervenções analisadas — OT de tipo I, OT de tipo II, REV — em função das variáveis velocidade de fluxo livre da via, índice de acidentes da via por severidade e volume de tráfego da via, e de um conjunto de parâmetros obtidos na literatura para caracterizar os efeitos de segurança, de mobilidade e ambientais das medidas de intervenção. Para alcançar os objetivos específicos de (2) a (4), foram feitas simulações com as equações obtidas na etapa anterior e estabelecido para que intervalos de valores das variáveis velocidade de fluxo livre da via, índice de acidentes da via por severidade e volume de tráfego da via cada intervenção é custo-eficiente, isto é, apresenta um VPL superior a zero.

Em seguida, foi feita a comparação dos resultados obtidos para cada intervenção de modo a avaliar sob quais condições de velocidade de fluxo livre da via, índice de acidentes da via por severidade e volume de tráfego da via a substituição de uma OT, de tipo I ou II, por um REV é custo-eficiente [objetivo específico (5)].

Por fim, o objetivo específico (6) consiste em corroborar os resultados obtidos por meio de uma análise de sensibilidade, na qual se verificará como alterações dos parâmetros influenciam os resultados obtidos nas análises anteriores. Entre estes parâmetros estão o custo de implementação, a taxa de desconto, potenciais erros de estimativa dos impactos e potenciais erros de valoração dos impactos.

Descreve-se, a seguir, o tratamento dado às etapas sugeridas por Zerbe e Bellas (2006) para a realização de ACB.

4.3 Perspectiva da análise e grupos afetados

Na ACB, os benefícios de uma determinada intervenção são contrapostos aos seus custos, o que permite fundamentar decisões com base no benefício líquido que essa intervenção gera. Esta análise pode ser feita a partir dos focos privado, social ou governamental, em que interessam somente os benefícios e custos que impactam determinado grupo de agentes.

O presente estudo tem por finalidade avaliar medidas redutoras de velocidade de uma perspectiva social (da sociedade como um todo), pois decisões públicas devem ser tomadas levando em conta não somente os seus impactos sobre o orçamento público, mas também os efeitos potenciais e relevantes sobre a sociedade em geral.

O benefício incluído na análise é a redução na acidentalidade de trânsito, a qual afeta todos os usuários do trecho da via em que se considera a implementação dos projetos. Os custos (ou impactos negativos) incluídos na análise são o aumento no tempo de percurso de usuários motorizados e o aumento na poluição atmosférica causado pelo aumento do consumo de combustível. Enquanto a poluição atmosférica afeta toda a sociedade ou, pelo menos, o bairro em que é implantado o dispositivo redutor de velocidade, o aumento no consumo de combustível afeta somente os usuários motorizados.

São excluídos da análise diversos outros efeitos como o ruído causado pelo tráfego, a depreciação acelerada dos veículos, alterações no volume de tráfego, a penalização de pessoas com necessidades especiais e o aumento no tempo de resposta de veículos de emergência. A poluição sonora afeta sobretudo as pessoas que residem ou trabalham na proximidade de um

dispositivo redutor de velocidade. Pessoas com mobilidade reduzida também são afetadas pelas OT, assim como ocupantes de veículos de transporte público e operadores e beneficiários de veículos de emergência. Os contribuintes fiscais podem ser afetados também pelos casos de corrupção associados à implementação de REV (GRIZOTTI, 2011).

4.4 Alternativas consideradas e base de comparação

As alternativas consideradas são a implementação de uma OT-I, uma OT-II, e de REV com velocidade permitida de 10, 15 e 40 km/h, supondo o cumprimento das regulamentações do Contran. A seção de via considerada para a avaliação de impacto é de 120 m, o que corresponde aproximadamente à seção de via afetada pelas medidas de controle de velocidade em análise no que diz respeito à redução da velocidade média (BARBOSA; MOURA, 2008). A seção é dividida entre 30 m antes da medida e 90 m depois da mesma, o que corresponde aproximadamente aos perfis de velocidade observados por Silva, Seco e Silva (2010).

De acordo com a legislação vigente no Brasil (DENATRAN, 2008), a OT-I somente pode ser instalada em vias locais (volume máx. de 50 veículos por hora-faixa) em que haja necessidade de restringir a velocidade do tráfego a 20 km/h. A OT-II, por sua vez, somente pode ser instalada em segmentos urbanos de rodovias (volume máx. de 2000 veículos por hora-faixa), em vias coletoras (volume máx. de 650 veículos por hora-faixa) e em vias locais (volume máx. de 50 veículos por hora-faixa) em que haja necessidade de restringir a velocidade do tráfego a 30 km/h. Para o presente estudo, adota-se como padrão uma via coletora principal, de sentido único, com duas faixas de 3,5 m de largura cada (7 m no total), que comporte um fluxo máximo de 800 veículos por hora-faixa ou 6.000 veículos de passeio leves por dia.

No caso da OT-I, da OT-II e do REV de 40 km/h, é adotado como base de comparação a adoção de nenhuma das alternativas analisadas. No caso do REV de 10 e de 15 km/h, é considerada como base de comparação alternativa a implementação de uma OT-I e de uma OT-II, respectivamente. Neste segundo caso, como a análise desconsidera todos os efeitos prejudiciais das OT que são evitados pelo uso dos REV, a análise da viabilidade de implementar um REV se reduz a avaliar o valor que os impactos não quantificáveis ou não monetizáveis precisam alcançar para compensar o custo de implementação mais elevado de um REV em relação ao custo de implementação de uma OT.

4.5 Pressupostos e bases de cálculo

Além da monetização dos efeitos, os seguintes dados são necessários para caracterizar o conjunto final de equações:

- LAV_i : vítimas com lesão de severidade i por acidente com vítima;
- n_m : vida útil do dispositivo m ;
- r : taxa de desconto do dinheiro no tempo.

Para calcular o número de vítimas por acidente com vítima, por nível de severidade (LAV_i), foram utilizados dados do Departamento Nacional de Trânsito (Denatran¹¹) e do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (Datasus¹²). Para compatibilizar os dados, foram utilizados os valores referentes a 2008¹³. O número de vítimas fatais dos acidentes de trânsito, obtido do Datasus, foi de 38.273 pessoas em 2008. O número de vítimas com lesão não fatal, obtido do Denatran, foi de 619.831 pessoas em 2008. Dividindo estes valores pelo número de acidentes com vítimas do Denatran (428.970 acidentes), obtém-se o número de vítimas com lesão fatal por acidente com vítima (0,089) e o número de vítimas com lesão não fatal por acidente com vítima (1,445).

Com base nos estudos de Barbosa e Moura (2008), Maciel (2010), Rios e Pinheiro (2005) e Teodoro et al. (2012), estabeleceu-se que os veículos passam a uma velocidade de 15 km/h em uma OT-I e de 20 km/h em uma OT-II. No caso dos REV, Bocanegra (2006) mostra que a velocidade no dispositivo costuma ficar pouco abaixo da velocidade máxima permitida no local mais a tolerância de autuação, que é de 7 km/h para vias com limite de velocidade de até 100 km/h (INMETRO, 1998). Com base neste resultado, estabeleceu-se que os veículos passam a uma velocidade de 15 km/h, 20 km/h e 45 km/h em um REV de 10 km/h, 15 km/h e 40 km/h, respectivamente.

Como a velocidade média nos REV costuma não ultrapassar a velocidade máxima permitida no local mais a tolerância de autuação, a relação entre o número de infrações registradas e o volume de tráfego é bastante baixa, em torno de 0,3% (BOCANEGRA, 2006).

¹¹ Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/download/frota/ANUARIO_2008.zip>. Acesso em 15 fev. 2013.

¹² Disponível em: <<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=02>>. Acesso em 20/3/2013.

¹³ Os últimos dados sobre acidentes divulgados pelo Denatran são referentes a 2008. O Registro Nacional de Acidentes e Estatísticas de Trânsito (Renaest), instituído pela Resolução nº 208 do Contran, de 26 out. 2006, substituiu o Sistema Nacional de Estatísticas de Trânsito (Sinet) e, de acordo com a Portaria nº 82 do Denatran, de 16 nov. 2006, estaria disponível no portal de estatísticas de trânsito no site oficial do Denatran. Entretanto, o que o site do Denatran mostra desde 2009, pelo menos, é que o portal Renaest e o sistema Renaest estariam passando por manutenção.

No presente estudo, foi utilizado como vida útil o período de 5 anos para todos os dispositivos analisados. A escolha deste horizonte temporal foi algo arbitrária, mas está de acordo com as recomendações de Ferraz et al. (2012) e MT (2002).

Como taxa de desconto do dinheiro no tempo foi adotada a taxa de 6% ao ano, recomendada por Ferraz et al. (2012). Apesar de o DNIT (2006) recomendar a adoção de uma taxa de 12% ao ano, a taxa recomendada por Ferraz et al. está mais próxima da taxa de juros de longo prazo (TJLP) da economia brasileira, a qual encontra-se no patamar de 5% ao ano em 2013. A Tabela 27 resume os parâmetros técnicos que foram utilizadas no presente estudo.

Tabela 27 – Parâmetros técnicos utilizados na ACB

| Parâmetro | Índice | Unidade | Valor | Referência |
|-----------|-----------|-----------------|-------|--|
| LAV_i | Fatal | pessoa/acidente | 0,089 | Datasus ¹ , Denatran ² |
| LAV_i | Não fatal | pessoa/acidente | 1,445 | Datasus ¹ , Denatran ² |
| VND_m | OT-I | km/h | 15 | Barbosa e Moura (2008), Maciel (2010), Rios e Pinheiro (2005), Teodoro et al. (2012) |
| VND_m | OT-II | km/h | 20 | Barbosa e Moura (2008), Maciel (2010), Rios e Pinheiro (2005), Teodoro et al. (2012) |
| VND_m | REV-10 | km/h | 15 | Bocanegra (2006) |
| VND_m | REV-15 | km/h | 20 | Bocanegra (2006) |
| VND_m | REV-40 | km/h | 45 | Bocanegra (2006) |
| n_m | OT-I | Anos | 5 | Bishai e Hyder (2006) |
| n_m | OT-II | Anos | 5 | Bishai e Hyder (2006) |
| n_m | REV | Anos | 5 | Hooke, Knox e Portas (1996) |
| r | — | %/ano | 6 | Ferraz et al. (2012) |

Nota: ¹ Disponível em: <<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=02>>. Acesso em 14/2/2013. ²

Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/download/frota/ANUARIO_2008.zip>. Acesso em 15/2/2013.

Fonte: Elaboração própria.

4.5.1 Condições de tráfego

A Tabela 28 especifica os intervalos de variação das variáveis que definem as condições dos trechos críticos de via — velocidade de fluxo livre da via (*VFL*), índice de acidentes com vítima (*ACV*) e volume de tráfego de veículos (*TMDA*) — e que serão permitidos variar na ACB.

Tabela 28 – Intervalos de variação das condições dos trechos críticos da via

| Variável | Valor mínimo | Valor máximo |
|--------------------------------|--------------|--------------|
| <i>VFL</i> para OT-I e REV-10 | 15 | 80 |
| <i>VFL</i> para OT-II e REV-15 | 20 | 80 |
| <i>VFL</i> para REV-40 | 45 | 80 |
| <i>ACV</i> | 0 | 10 |
| <i>TMDA</i> | 0 | 6000 |

Fonte: Elaboração própria.

A velocidade de fluxo livre da via deverá ser, no mínimo, de 15 km/h, porque abaixo desta velocidade não haveria necessidade de reduzir a velocidade do tráfego, e, no máximo, de 80 km/h, porque este é o limite de velocidade para o qual valem as equações que descrevem os efeitos ambiental e energético. A velocidade de fluxo-livre é observada apenas em períodos de baixa densidade de veículos, em condições favoráveis de tempo e tráfego, quando os motoristas não sofrem interferência dos outros veículos que circulam pela via em estudo (BRANDÃO, 2011).

O índice de acidentes com vítima no trecho viário analisado foi restrito a um máximo de 10 ACV por ano, dado que no trecho de 10 km mais crítico das rodovias federais ocorreram 1.582 acidentes com 702 vítimas em 2012 (D'AGOSTINO, 2013). Supondo que para cada vítima tenha havido um acidente, 702 vítimas em 10 km correspondem a 8,4 ACV em 120 m, supostamente a área de influência de uma OT.

O volume de tráfego médio diário anual foi restrito a 6.000 veículos por ser este o fluxo máximo comportado pelo tipo de via considerada no presente estudo (via coletora principal).

Adicionalmente, assumiu-se que o número de acidentes com vítima não pode superar o volume de tráfego diário: $ACV < TMDA$.

As seguintes equações representam as condições de tráfego descritas:

Condições de tráfego:

$$VND_m < VFL \leq 80 \quad (18)$$

$$0 < ACV \leq 30 \quad (19)$$

$$0 < TMDA \leq 6000 \quad (20)$$

$$ACV < TMDA \quad (21)$$

4.5.2 Custo de implementação

Considerando que o custo de implementação, CT_m , é igual ao custo de investimento, CI_m , mais o custo de manutenção, CM_m , o presente estudo adota os custos de implementação constantes na Tabela 29 para realizar a ACB, os quais estão fundamentados nos dados apresentados na seção 3.4.8.

Tabela 29 – Custo de implementação de dispositivos redutores de velocidade de trânsito, via de duas faixas, preços de janeiro de 2014

| Dispositivo | Investimento | Manutenção anual |
|-------------|--------------|------------------|
| OT-I | R\$ 6.000 | R\$ 600 |
| OT-II | R\$ 9.000 | R\$ 900 |
| REV | — | R\$ 120.000 |

Nota: OT-I – ondulação transversal tipo I; OT-II – ondulação transversal tipo II; REV – redutor eletrônico de velocidade.

Fonte: Elaboração própria com base em Rios e Pinheiro (2005), Fiscalização... (2008), Paes et al. (2008), Linjardi (2011) e Município de Ijuí (2011).

4.6 Identificação e quantificação dos impactos

A ACB das medidas moderadoras de tráfego OT e REV requer a estimativa de uma série de impactos potenciais. Entre os principais efeitos das OT estão (1) a redução do número de acidentes, (2) o aumento do tempo de percurso, (3) o aumento da poluição do ar, (4) o aumento do consumo de combustível, (5) a alteração do nível de ruído do tráfego, (6) a depreciação acelerada dos veículos, (7) a alteração do volume de tráfego, (8) a penalização indiscriminada de todos os motoristas, estejam estes infringindo a lei ou não, (9) a penalização de pessoas com necessidades especiais, (10) o aumento do tempo de resposta de veículos de emergência. Além disso, se mal projetadas e implantadas, as OT podem causar danos aos veículos, comprometer o desempenho do tráfego e causar acidentes de trânsito.

De todos os efeitos identificados no parágrafo anterior, somente os efeitos (1) a (4) foram incluídos na ACB que se segue. Os efeitos (5) a (6) foram considerados desprezíveis com base na revisão de literatura, e os efeitos (7) a (10), apesar de possivelmente relevantes, não foram avaliados pela dificuldade existente na sua mensuração e valoração. Não foram encontrados estudos que tenham avaliado cientificamente os efeitos (8) e (9).

Foram encontrados três estudos que efetuaram uma ACB especificamente para OT: Gitelman e Hakkert (2006), Yannis e Evgenikos (2005) e Elvik (2001a). Os primeiros dois somente avaliaram os efeitos (1) e (2), enquanto o último também avaliou o efeito (6).

Entre os principais efeitos dos REV estão (1) a redução do número de acidentes, (2) o aumento do tempo de percurso, (3) o aumento da poluição do ar, (4) o aumento do consumo de combustível, (5) a alteração do nível de poluição sonora do tráfego e (6) a alteração do volume de tráfego. Se mal projetados ou mantidos, os REV podem gerar multas indevidas ou deixar de exercer a sua função de redução da velocidade de tráfego. Pode haver uma propensão maior à corrupção nos contratos de licitação de REV do que nos de OT (GRIZOTTI, 2011).

Dos efeitos identificados no parágrafo anterior, somente os efeitos (1) a (4) foram incluídos na ACB que se segue. Os efeitos (5) a (6) foram considerados desprezíveis com base na revisão de literatura.

Baseando-se nos impactos que são costumeiramente incluídos em ACB de projetos de investimento rodoviário na Noruega (ELVIK, 2001a) e na lista proposta por (ELVIK, 2000) dos impactos de medidas destinadas a melhorar a segurança ou a mobilidade de pedestres e ciclistas que devem ser incluídos em ACB e para os quais exista adequada valoração monetária, o presente estudo inclui os efeitos listados na Tabela 30.

Tabela 30 – Efeitos incluídos na ACB

| Efeito | Unidade de conta | Unidade de valoração |
|-------------------|--|--------------------------------|
| Tempo de percurso | Veículo | Hora |
| Acidentes | Pessoa que sofreu lesão | Lesão fatal Lesão não fatal |
| Poluição | Monóxido de carbono (CO) | kg de CO |
| | Hidrocarbonetos (HC) | kg de HC |
| | Óxido de nitrogênio (NO _x) | kg de NO _x |
| Combustível | Veículo | Litro de gasolina |

Fonte: Elaborado a partir de Elvik (2000) e Elvik (2001c).

Em particular, são avaliados os impactos de OT e REV sobre a quantidade e a gravidade dos acidentes de trânsito, sobre o tempo de percurso de motoristas e a poluição ambiental. Todos esses efeitos podem ser estimados a partir de quatro variáveis: velocidade de fluxo livre da via, velocidade na medida de intervenção, índice de acidentes da via por severidade e volume de tráfego da via. Como a velocidade na medida de intervenção é determinada pelas

características físicas do dispositivo, as variáveis relevantes para a avaliação de eficiência são a velocidade de fluxo livre, o volume de tráfego e o índice de acidentes.

Detalham-se a seguir os procedimentos adotados para estimar o efeito de segurança (número e gravidade dos acidentes), o efeito de mobilidade (tempo de percurso), o efeito ambiental (poluição do ar) e o efeito energético (consumo de combustível). Os efeitos são estimados separadamente para as intervenções OT-I (REV-10), OT-II (REV-15) e REV-40.

4.6.1 Efeito de segurança

No presente trabalho, o efeito de segurança de cada dispositivo m é medido pelo número de lesões de severidade i evitadas por ano ($LEA_{i,m}$), o qual, por sua vez, é obtido pelo produto do número de acidentes com vítima por ano na seção de via analisada (ACV), do número de vítimas com lesão de severidade i por acidente com vítima (LAV_i) e do fator redutor de lesões de severidade i ($FRL_{i,m}$), com $i =$ (fatal, não fatal):

$$LEA_{i,m} = ACV \times LAV_i \times FRL_{i,m} \quad (22)$$

O número de vítimas com lesão de severidade i por acidente com vítima (LAV_i) é dado pelo quociente entre o número de pessoas que sofreram lesões de severidade i em determinado ano ($LA_{i,0}$) e o total de acidentes com vítima no mesmo ano (ACV_0):

$$LAV_i = \frac{LA_{i,0}}{ACV_0} \quad (23)$$

O fator redutor de lesões de severidade i ($FRL_{i,m}$) é calculado pelo modelo de potência

$$FRL_{i,m} = 1 - \left(\frac{\bar{V}_m}{VFL} \right)^{p_i} \quad (24)$$

em que \bar{V}_m é a velocidade média com o dispositivo redutor de velocidade m , VFL é a velocidade de fluxo livre da via (a velocidade média sem dispositivo redutor de velocidade), $p = 3$ para lesões fatais e $p = 1,4$ para lesões não fatais. De acordo com a equação (24), o FRL é uma função crescente da velocidade de tráfego (Figura 4), para ambos os graus de severidade.

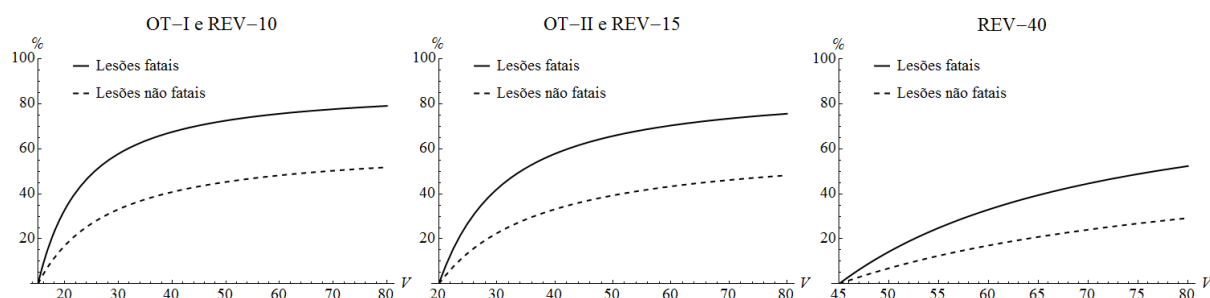


Figura 4 – FRL para OT e REV, em zona urbana, segundo o modelo de potência

Fonte: Elaboração própria a partir de Elvik (2009).

Apesar destes expoentes serem baseados em valores obtidos em países desenvolvidos, não há dados nacionais que permitam adaptar estes parâmetros para a realidade brasileira. Ainda assim, há alguma validade na adoção destes parâmetros, porque a redução do número de acidentes previsto por este modelo se aproxima razoavelmente bem das evidências encontradas por estudos brasileiros sobre REV, tais como Cannell e Gold (1999), Lopes (2006), Chequer e Mello (2010) e Cupolillo (2006). Além disso, Elvik (2001b) argumenta que os efeitos de segurança das medidas de segurança viária não devem ser diferenciados entre países a não ser que isso possa ser justificado com base em resultados de pesquisas científicas, o que não é o caso até o momento.

Para obter a velocidade média com dispositivo redutor de velocidade (\bar{V}_m), é preciso obter primeiro perfis de velocidade para os diferentes dispositivos redutores de velocidade e para diferentes velocidades de fluxo livre. Para tal, foram definidas as seguintes equações lineares.

$$\begin{aligned}
 V_{d,m} &= \frac{d}{30}(VND_m - VFL) + VND_m & -30 \leq d \leq 0 \\
 V_{d,m} &= \frac{d}{90}(VFL - VND_m) + VND_m & 0 \leq d \leq 90
 \end{aligned}
 \tag{25}$$

em que $V_{d,m}$ é a velocidade média dos veículos à distância d da intervenção m , VND_m é a velocidade no dispositivo m , definida de acordo com critérios técnicos, e -30 e 90 são as distâncias (em metros) inicial e final, respectivamente, relativas à posição do dispositivo redutor de velocidade.

A seção é dividida entre 30 m antes da medida e 90 m depois da mesma, o que corresponde aproximadamente aos perfis de velocidade observados por Silva, Seco e Silva (2010). O comprimento da seção de via considerada para a avaliação de impacto é, portanto, de 120 m, o que corresponde aproximadamente à seção de via afetada pelas medidas de controle de velocidade em análise no que diz respeito à redução da velocidade média (BARBOSA; MOURA, 2008).

A partir dos perfis de velocidade [equação (25)], obtém-se a velocidade média com dispositivo redutor de velocidade (\bar{V}_m):

$$\bar{V}_m = \frac{1}{120} \int_{d=-30}^{90} V_{d,m} dd \quad (26)$$

$$\bar{V}_m = \frac{1}{2}(VFL + VND_m)$$

O efeito de segurança de cada dispositivo redutor de velocidade é dado por:

$$ES_m = ACV \sum_i \frac{LA_{i,0}}{ACV_0} \times \left[1 - \left(\frac{VFL + VND_m}{2 VFL} \right)^{p_i} \right] \quad (27)$$

O valor anual do efeito de segurança de cada dispositivo ($VAES_m$) é medido multiplicando o somatório de todas as lesões evitadas ($LEA_{i,m}$) pelo valor dessas lesões (VLE_i):

$$VAES_m = \sum_i LEA_{i,m} \times VLE_i \quad (28)$$

4.6.2 Efeito de mobilidade

O tempo de percurso (T), em segundos, que o veículo leva para transitar pela seção analisada (120 m) é uma função da velocidade de tráfego (V), em km/h:

$$T = \frac{18/5}{V} \quad (29)$$

De acordo com a equação (29), o tempo de percurso é uma função decrescente da velocidade de tráfego (Figura 5).

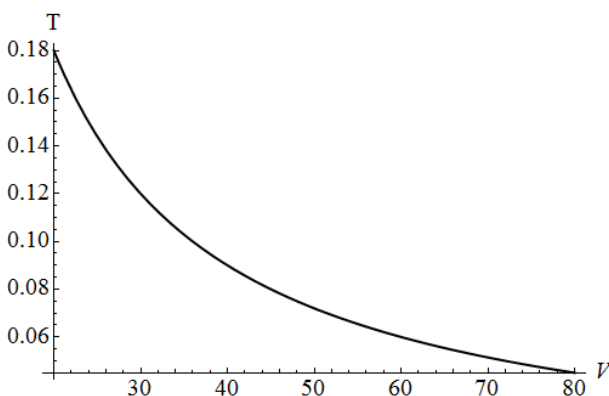


Figura 5 – Tempo de percurso (s/120m) em função da velocidade (km/h)

Fonte: Elaboração própria.

O efeito de mobilidade (EM_m) é o gasto adicional de tempo que decorre da diferença entre os perfis de velocidade com e sem dispositivo redutor de velocidade, com $VND_m < VFL \leq 80$:

$$EM_m = \int_{d=-30}^{90} \frac{18/5}{V_{d,m}} dd - 120 \frac{18/5}{VFL} \quad (30)$$

Substituindo $V_{d,m}$ pela equação (25) e resolvendo a integral, obtém-se

$$EM_m = 432 \frac{\ln(VFL/VND_m)}{VFL - VND_m} - \frac{432}{VFL} \quad (31)$$

O valor anual do efeito de mobilidade de cada dispositivo ($VAEM_m$) é calculado pelo produto do tempo perdido por veículo convertido em horas ($T/3600$), do valor da hora-veículo (VHV), do tráfego médio diário anual ($TMDA$) e do número de dias de um ano não bissexto (365):

$$VAEM_m = 365 \times TMDA \times \frac{EM_m}{3600} \times VHV \quad (32)$$

$$VAEM_m = \frac{73}{720} TMDA \times EM_m \times VHV$$

4.6.3 Efeito ambiental

A avaliação do efeito ambiental é feita por meio de uma adaptação da metodologia desenvolvida por IPEA e ANTP (1999), a qual define equações que relacionam as emissões de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e óxido de nitrogênio (NO_x) de um veículo médio da cidade de São Paulo, medidas em gramas, com a velocidade média (V), medida em km/h, para $0 \leq V \leq 80$:

$$CO = -4,51 + \frac{727}{V} + \frac{1,34}{10^3} V^2 \quad (33)$$

$$HC = -0,28 + \frac{62,48}{V} \quad (34)$$

$$NO_x = 1,03 + \frac{7,477}{10^5} V^2 \quad (35)$$

A velocidade média sem dispositivo redutor de velocidade é igual à VFL , e a velocidade média com dispositivo redutor de velocidade é dada por:

$$\bar{V}_m = \frac{1}{120} \int_{d=-30}^{90} V_{d,m} dd \quad (36)$$

$$\bar{V}_m = \frac{1}{2}(VFL + VND_m)$$

O efeito ambiental ($EA_{s,m}$) é a emissão adicional da substância $s = (CO, HC, NO_X)$ que decorre da diferença entre as velocidades médias com e sem dispositivo redutor de velocidade, com $\bar{V}_m < VFL \leq 80$:

$$EA_{CO,m} = \frac{1.454}{VFL + VND_m} + \frac{335}{10^6}(VFL + VND_m)^2 - \frac{727}{VFL} - \frac{134}{10^5}VFL^2 \quad (37)$$

$$EA_{HC,m} = \frac{12.496}{10^2} \frac{1}{VFL + VND_m} - \frac{6.248}{10^2} \frac{1}{VFL} \quad (38)$$

$$EA_{NO_X,m} = \frac{37.385}{10^9}(VFL + VND_m)^2 - \frac{7.477}{10^8}VFL^2 \quad (39)$$

O valor anual do efeito ambiental de cada dispositivo ($VAEA_m$) é obtido para cada substância poluidora pelo produto de sua emissão adicional devido ao dispositivo redutor de velocidade em kg ($EA_{s,m}/10^3$), do valor do kg de emissão de poluentes (VEP_s), do tráfego médio diário anual ($TMDA$) e do número de dias de um ano não bissexto (365):

$$VAEA_m = 365 \times TMDA \sum_s \frac{EA_{s,m}}{10^3} VEP_s \quad (40)$$

$$VAEA_m = \frac{73}{200} TMDA \times \sum_s EA_{s,m} \times VEP_s$$

4.6.4 Efeito energético

A avaliação do efeito energético (consumo de combustível) é feita por meio da metodologia desenvolvida por IPEA e ANTP (1999), a qual define a seguinte equação que relaciona o consumo de gasolina (G) de um automóvel médio da cidade de São Paulo, medido em litros/km, com a velocidade média (V), medida em km/h:

$$G = 0,09543 + \frac{1,26643}{V} - 0,00029 V \quad (41)$$

$$G = \frac{9.543}{10^5} + \frac{126.643}{10^5} \frac{1}{V} - \frac{29}{10^5} V$$

O efeito energético (EE_m) é o consumo adicional de gasolina que decorre da diferença entre as velocidades médias com e sem dispositivo redutor de velocidade:

$$EE_m = \frac{253.286}{10^5} \frac{1}{VFL + VND_m} - \frac{145}{10^6}(VFL + VND_m) - \frac{126.643}{10^5} \frac{1}{VFL} + \frac{29}{10^5}VFL \quad (42)$$

O valor anual do efeito energético de cada dispositivo ($VAEE_m$) é obtido pelo produto do consumo adicional de gasolina (em litros) devido ao dispositivo redutor de velocidade (EE_m),

do preço do litro de gasolina a custo de fatores (VLG), do tráfego médio diário anual ($TMDA$) e do número de dias de um ano não bissexto (365):

$$VAEE_m = 365 \times TMDA \times EE_m \times VLG \quad (43)$$

4.7 Valoração monetária dos impactos

Detalham-se a seguir os procedimentos adotados para valorar monetariamente o efeito de segurança (acidentes), o efeito de mobilidade (tempo de percurso), o efeito ambiental (poluição) e o efeito energético (combustível).

Para valorar os acidentes de trânsito em aglomerações urbanas por nível de severidade da lesão foram utilizados os valores encontrados por IPEA e ANTP (2003).

Para valorar o tempo perdido por motoristas, foi utilizado como referência o valor encontrado por Brito (2007).

A poluição do ar causada pelo aumento no consumo de combustível foi valorada a partir dos valores encontrados por IPEA e ANTP (1999).

O preço da gasolina a custo de fatores foi obtido subtraindo de seu preço de mercado o valor de impostos indiretos e transferências, a partir dos preços médios praticados em janeiro de 2014, divulgados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (SÍNTESE..., 2014), e da tabela de formação de preços da gasolina publicada pela Fecombustíveis (TABELA..., 2012).

A Tabela 31 resume os parâmetros monetários que foram utilizadas no presente estudo e indica os valores monetariamente atualizados para janeiro de 2014, de acordo com o índice de preços ao consumidor amplo (IPCA), elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Tabela 31 – Parâmetros monetários da ACB

| Parâmetro | Índice | Unidade | Valor | R\$ de janeiro de 2014 | Referência |
|-----------|-----------------|------------|---------|------------------------|--------------------|
| VLE_i | Fatal | R\$/pessoa | 109.709 | 194.378 | IPEA e ANTP (2003) |
| VLE_i | Não fatal | R\$/pessoa | 14.233 | 25.218 | IPEA e ANTP (2003) |
| VHV | — | R\$/h | 16,3 | 25,3 | Brito (2007) |
| VEP_s | CO | R\$/kg | 0,19 | 0,50 | IPEA e ANTP (1999) |
| VEP_s | HC | R\$/kg | 1,14 | 2,98 | IPEA e ANTP (1999) |
| VEP_s | NO _x | R\$/kg | 1,12 | 2,93 | IPEA e ANTP (1999) |
| VLG | — | R\$/litro | 1,95 | 1,95 | Tabela... (2012) |

Nota: Os valores de IPEA e ANTP (1999) estão a preços de janeiro de 1999, os de IPEA e ANTP (2003) a preços de abril de 2003, e os de Brito (2007) a preços de junho de 2005. Os valores foram atualizados pelo IPCA, do IBGE.

Fonte: Elaboração própria.

4.7.1 Cálculo do valor presente

Os valores anuais dos efeitos de segurança ($VAES_m$), de mobilidade ($VAEM_m$), ambiental ($VAEA_m$) e energético ($VAEE_m$) são convertidos para valores presentes ($VPES_m$, $VPEM_m$, $VPEA_m$ e $VPEE_m$, respectivamente) multiplicando-os pelo fator de valor presente referente à vida útil de cada dispositivo (FVP_m):

$$VPES_m = VAES_m \times FVP_m \quad (44)$$

$$VPEM_m = VAEM_m \times FVP_m \quad (45)$$

$$VPEA_m = VAEA_m \times FVP_m \quad (46)$$

$$VPEE_m = VAEE_m \times FVP_m \quad (47)$$

O fator de valor presente (FVP_m) é calculado a partir da vida útil, em anos, de cada dispositivo (n_m) e da taxa de desconto (r):

$$FVP_m = \int_{t=0}^{n_m} e^{-rt} \quad (48)$$

Cuja solução é

$$FVP_m = \frac{1 - e^{-r \cdot n_m}}{r} \quad (49)$$

O fator de valor presente do custo de manutenção ($FVPCM_m$), por sua vez, é calculado a partir do primeiro ano de serviço do dispositivo redutor de velocidade:

$$FVPCM_m = \int_{t=1}^{n_m} e^{-rt} \quad (50)$$

Cuja solução é

$$FVPCM_m = \frac{e^{-r} - e^{-r \cdot n_m}}{r} \quad (51)$$

Em suma, o valor presente do efeito de segurança ($VPES_m$) é calculado para combinações de velocidade de fluxo livre (VFL) e índice de acidentes (ACV), a partir da vida útil de cada dispositivo (n_m), da taxa de juros real (r), do número de vítimas com lesão por acidente com vítima, por severidade da lesão (LAV_i), da velocidade média em cada dispositivo (VND_m), do expoente do modelo de potência (p_i) e do valor atribuído a cada tipo de lesão (VLE_i):

$$VPES_m = \frac{1 - e^{-r \cdot n_m}}{r} ACV \sum_i \frac{LAV_{i,0}}{ACV_0} \times \left[1 - \left(\frac{VFL + VND_m}{2 VFL} \right)^{p_i} \right] \times VLE_i \quad (52)$$

O valor presente do efeito de mobilidade ($VPEM_m$), por sua vez, é calculado para combinações de volume de tráfego ($TMDA$) e velocidade de fluxo livre (VFL), a partir da vida útil de cada dispositivo (n_m), da taxa de juros real (r), da velocidade média em cada dispositivo (VND_m) e do valor da hora-veículo (VHV):

$$VPEM_m = \frac{1 - e^{-r \cdot n_m}}{r} \frac{73}{720} TMDA \times \left[432 \frac{\ln(VFL/VND_m)}{VFL - VND_m} - \frac{432}{VFL} \right] \times VHV \quad (53)$$

O valor presente do efeito ambiental ($VPEA_m$) é calculado para combinações de volume de tráfego ($TMDA$) e velocidade de fluxo livre (VFL), a partir da vida útil de cada dispositivo (n_m), da taxa de juros real (r), da velocidade média no dispositivo (VND_m) e do valor do kg de poluição (VEP_s):

$$VPEA_m = \frac{1 - e^{-r \cdot n_m}}{r} \frac{73}{200} TMDA \sum_s EA_{s,m} \times VEP_s \quad (54)$$

Em que $EA_{s,m}$ é definido pelas equações 33, 34 e 35.

O valor presente do efeito energético ($VPEE_m$) é calculado para combinações de volume de tráfego ($TMDA$) e velocidade de fluxo livre (VFL), a partir da vida útil de cada dispositivo (n_m), da taxa de juros real (r), da velocidade média no dispositivo (VND_m) e do preço do litro de gasolina a custo de fatores (VLG):

$$VPEE_m = \frac{1 - e^{-r \cdot n_m}}{r} 365 \times TMDA \times EE_m \times VLG \quad (55)$$

Em que EE_m é definido pela equação 38.

O valor presente do custo de implementação é depende do custo de investimento, CI_m , e do custo de manutenção, CM_m :

$$VPCT_m = CI_m + \frac{e^{-r} - e^{-r \cdot n_m}}{r} CM_m \quad (56)$$

O valor presente líquido (VPL_m) é calculado como definido na equação 13, descontando o custo de implementação ($VPCT_m$) dos benefícios líquidos ($VPES_m - VP EM_m - VPEA_m - VPEE_m$):

$$VPL_m = VPES_m - VP EM_m - VPEA_m - VPEE_m - VPCT_m \quad (57)$$

O coeficiente benefício-custo (CBC_m) é calculado como definido na equação 15:

$$CBC_m = \frac{VPES_m - VP EM_m - VPEA_m - VPEE_m}{VPCT_m} \quad (58)$$

4.8 Tratamento dos impactos não quantificáveis ou não monetizáveis

Os principais impactos não quantificados das OT são (1) a penalização indiscriminada de todos os motoristas, estejam estes infringindo a lei ou não, (2) a penalização de pessoas com necessidades especiais e (3) o aumento do tempo de resposta de veículos de emergência. Além disso, deve-se adicionar (4) o risco a que ficam expostos os usuários da via no caso da implantação inadequada de OT (sinalização, dimensão física do dispositivo, iluminação, interferências visuais) e no caso de condições adversas de tempo (chuva, neblina, neve, gelo).

Todos estes efeitos adversos são evitados pelo uso de REV. Ainda que a manutenção inadequada de REV, por exemplo, possa gerar a emissão de multas indevidas e os dispositivos físicos dos REV possam oferecer algum risco de choque aos veículos, estes efeitos devem ser considerados diminutos quando comparados aos efeitos adversos das OT. Isso porque há indícios de que grande parte – se não a maior parte – das OT estão irregulares, o que leva à ocorrência de acidentes severos, à penalização descabida de pessoas com necessidades especiais e ao atraso significativo de linhas de transporte público e de veículos de emergência, com todas as consequências adversas associadas ao atraso de policiais, bombeiros e ambulâncias.

Um efeito adverso dos REV que não deve ser desconsiderado, no entanto, é que pode haver uma maior propensão à corrupção na implementação de REV do que na implementação de OT, o que pode levar, inclusive, a implementação de REV em locais inapropriados. Contudo, este efeito também não é quantificado. Contrapõe-se, ainda, a este último efeito dos REV, a não realização de estudos de tráfego que deveriam preceder a implementação de OT, as quais são frequentemente implementadas a pedido da população e sem critérios técnicos adequados.

A importância dos impactos não quantificados das OT é avaliada no presente estudo no contexto da avaliação da implementação de um REV de 10 ou 15 km/h em vez de uma OT-I ou

de uma OT-II, respectivamente. Neste contexto, avalia-se o valor que os impactos não quantificáveis ou não monetizáveis precisam alcançar para compensar o custo de implementação mais elevado de um REV em relação ao custo de implementação de uma OT. Este valor é igual à diferença entre os valores presentes dos custos de implementação de REV e OT, isto é, em torno de R\$ 400 mil. Desta forma, para que a substituição de uma OT por um REV seja desejável, duas condições devem ser satisfeitas. Primeiro, o VPL da implementação do REV deve ser positivo. Segundo, o valor presente dos impactos não quantificados das OT deve superar R\$ 400 mil.

4.9 Taxa de desconto intertemporal

Como taxa de desconto do dinheiro no tempo foi adotada a taxa de 6% ao ano, recomendada por Ferraz et al. (2012). Apesar de o DNIT (2006) recomendar a adoção de uma taxa de 12% ao ano, a taxa recomendada por Ferraz et al. está mais próxima da taxa de juros de longo prazo (TJLP) da economia brasileira, a qual encontra-se no patamar de 5% ao ano em 2013.

4.10 Identificação e tratamento de fatores de risco e de incerteza

Os fatores de risco e a incerteza foram abordados formalmente por meio de simulação. Permitiu-se que os principais parâmetros variassem em intervalos definidos “ad-hoc”, avaliando em seguida como cada parâmetro afeta a variabilidade do VPL do projeto.

Nesta simulação, é avaliada a influência dos 18 parâmetros da Tabela 27 e da Tabela 31, e das variáveis *VFL*, *ACV* e *TMDA*, sobre a variância do VPL de cada dispositivo redutor de velocidade. A simulação é repetida dez mil vezes assumindo uma distribuição uniforme para as variáveis *VFL*, *ACV* e *TMDA*, e uma distribuição triangular para os parâmetros, truncada nos valores constantes na Tabela 32.

Tabela 32 – Parâmetros da análise de sensibilidade

| Parâmetro | Valor mínimo | Valor provável | Valor máximo |
|---|--------------|----------------|--------------|
| Lesões fatais por acidente com vítima | 0,000 | 0,089 | 0,200 |
| Lesões não fatais por acidente com vítima | 1,000 | 1,445 | 2,000 |
| Velocidade média na OT-I e no REV-10 | 10 | 15 | 20 |
| Velocidade média na OT-II e no REV-15 | 15 | 20 | 25 |
| Velocidade média no REV-40 | 40 | 45 | 50 |
| Valor de lesão fatal | 100.000 | 194.378 | 500.000 |
| Valor de lesão não fatal | 10.000 | 25.218 | 50.000 |
| Valor da hora-veículo | 5,0 | 25,3 | 30,0 |
| Valor da poluição com monóxido de carbono | 0,30 | 0,50 | 1,00 |
| Valor da poluição com hidrocarbonetos | 3,00 | 2,98 | 5,00 |
| Valor da poluição com óxido de nitrogênio | 3,00 | 2,93 | 5,00 |
| Valor do litro de gasolina | 0,00 | 1,95 | 3,00 |
| Vida útil de OT e REV | 1 | 5 | 10 |
| Taxa de desconto real | 0 | 6 | 12 |
| Custo de instalação de OT-I | 3.000 | 6.000 | 9.000 |
| Custo de instalação de OT-II | 6.000 | 9.000 | 12.000 |
| Custo de manutenção de OT-I | 300 | 600 | 900 |
| Custo de manutenção de OT-II | 600 | 900 | 1.200 |
| Custo de manutenção de REV | 72.000 | 120.000 | 280.000 |
| Fator de potência de lesão fatal | 2,0 | 3,0 | 4,0 |
| Fator de potência de lesão não fatal | 1,0 | 1,4 | 2,0 |

Nota: O valor provável refere-se ao valor mais provável conforme a revisão de literatura e conforme descrito neste capítulo. Os valores mínimo e máximo, por sua vez, foram definidos com base na revisão de literatura e com base na sensibilidade do autor.

Fonte: Elaboração própria.

Incertezas referentes à própria especificação do modelo não foram considerados, mas boa parte desta incerteza foi avaliada pela flexibilização dos parâmetros das equações que medem os efeitos.

Vale ressaltar que a ACB não permite avaliar adequadamente projetos que não sejam mutuamente exclusivos mas interdependentes. Por exemplo, a implantação simultânea ou posterior de outras medidas de redução de velocidade ou de engenharia de trânsito pode afetar a viabilidade dos projetos considerados.

4.11 Comparação de benefícios e custos

A comparação entre benefícios e custos é feita somente em termos do VPL, sendo todos os efeitos quantificados valorados a preços de janeiro de 2014 e em reais.

A ACB dos dispositivos redutores de velocidade OT-I, OT-II e REV requer analisar para quais valores de *VFL*, *TMDA* e *ACV* se obtém um VPL positivo. Como a solução algébrica não é viável, os resultados reportados adiante são obtidos por meio de simulação de Monte Carlo do sistema de equações da seção 4.7.1. Três simulações, com dez mil vezes repetições, são realizadas para cada dispositivo redutor de velocidade. Todas as simulações foram efetuadas usando o software Microsoft Excel 2013 e o suplemento Wehrspohn Risk Kit 5.

A primeira simulação assume uma distribuição uniforme para as variáveis *VFL*, *ACV* e *TMDA*, truncada nos valores limites estabelecidos na seção 4.5.1.

A segunda simulação é realizada separadamente para intervalos combinados das variáveis *VFL*, *ACV* e *TMDA*, em que a variável *VFL* é agrupada em intervalos de cinco unidades, a variável *ACV* é agrupada em intervalos de uma unidade e a variável *TMDA* é agrupada em intervalos de 600 unidades. No caso da OT-I, por exemplo, obtém-se, assim, $(80 - 15)/5 = 13$ grupos de *VFL*, $10/1 = 10$ grupos de *ACV* e $6.000/600 = 10$ grupos de *TMDA*. Os grupos referentes a cada uma das três variáveis (por exemplo, $45 \leq VFL \leq 50$) são então combinados com as demais variáveis (por exemplo, $0 < ACV \leq 10$ e $0 < TMDA \leq 6.000$) truncadas nos valores limites estabelecidos na seção 4.5.1. Assume-se que a variável *ACV* segue uma distribuição triangular com pico no ponto central do intervalo, e que a variável *TMDA* segue uma distribuição trapezoidal com probabilidade máxima no terço central do intervalo.

A terceira simulação é realizada para todas as combinações possíveis de grupos de *ACV* e *TMDA*, sendo os grupos de *TMDA* definidos com uma amplitude maior que na segunda simulação. No total, são analisados $10 \times 6 = 60$ grupos combinados, sendo a amplitude de cada grupo de 1 acidente para o número de *ACV* ($10/1 = 10$ grupos) e 1.000 veículos para o *TMDA* ($6.000/1.000 = 6$ grupos). Da mesma forma que na segunda simulação, assume-se que a variável *ACV* segue uma distribuição triangular com pico no ponto central do intervalo, e que a variável *TMDA* segue uma distribuição trapezoidal com probabilidade máxima no terço central do intervalo. Além disso, assume-se que a variável *VFL* segue uma distribuição triangular com pico na velocidade de 80 km/h. O tratamento diferenciado da variável *VFL* se deve ao fato dos resultados preliminares terem mostrado a relevância menor desta variável na explicação da variância do VPL dos dispositivos redutores de velocidade.

4.12 Análise pós-projeto

Como a ACB efetuada neste trabalho é um exercício de simulação, e não uma ACB de um projeto real, não se realizou análise pós-projeto. No entanto, no capítulo final serão feitos alguns comentários sobre a aplicabilidade dos resultados apresentados a seguir.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ACB efetuada no presente trabalho leva em consideração quatro efeitos das OT e dos REV, a saber: a redução do número de acidentes, o aumento do tempo de percurso, o aumento da poluição do ar e o aumento do consumo de combustível.

Tanto as OT quanto os REV possuem outros efeitos que não foram considerados na análise. No caso das OT, alguns efeitos não foram analisados ou porque existem indícios de que sejam negligenciáveis, como é caso da alteração do nível de poluição sonora do tráfego e da depreciação acelerada dos veículos, ou porque ainda não há um método adequado para a sua mensuração, como é o caso da alteração do volume de tráfego, da penalização indiscriminada de todos os motoristas, estejam estes infringindo a lei ou não, da penalização de pessoas com necessidades especiais, do aumento do tempo de resposta de veículos de emergência e dos prejuízos causados por OT mal projetadas e implantadas aos veículos, aos usuários da via e ao desempenho do tráfego.

No caso dos REV, efeitos como a alteração do nível de poluição sonora do tráfego, a alteração do volume de tráfego e a geração de multas indevidas não foram avaliados porque existem indícios de que sejam negligenciáveis.

Além disso, também não foram considerados na ACB outras restrições técnicas e as restrições legais que limitam o uso, ou a extensão do uso, de OT e de REV nas vias públicas. As restrições legais, por exemplo, impõem que as OT só podem ser implementadas em casos especiais, após avaliar a eficácia de outros dispositivos de engenharia de tráfego para reduzir a velocidade e o número e a gravidade dos acidentes em determinado local. Além disso, a OT-I só pode ser instalada em vias locais em que não circulem linhas regulares de transporte coletivo. A OT-II, por sua vez, pode ser implementada em vias locais, vias coletoras ou em trechos de rodovia que atravessam aglomerados urbanos e que possuem edificações lindeiras. A legislação exige, ainda, sinalização adequada, monitoramento do desempenho, índice de acidentes significativo, declividade reduzida da via, ausência de curvas ou interferências visuais, reduzido volume de tráfego e pavimento em bom estado de conservação.

5.1 OT-I e REV-10

Esta seção apresenta os resultados para os dispositivos OT-I e REV-10, os quais tem em comum a característica de reduzir a velocidade de tráfego em um ponto específico a 15 km/h.

No modelo deste estudo, ambos os dispositivos possuem exatamente os mesmos efeitos, exceto o custo de implementação.

Os efeitos simulados da OT-I e do REV-10 estão reportados na Tabela 33. Quanto ao efeito de segurança, esta tabela informa que, sob condições bastante gerais (vide seção 4.5.1), a OT-I e o REV-10 reduzem o número de vítimas fatais em acidentes de trânsito em 68%, em média. O número de lesões não fatais, por sua vez, é reduzido em 42%, em média. A constatação de que ela reduz efetivamente o número de acidentes, no entanto, é uma decorrência da forma como foi modelado o efeito de segurança. Em termos absolutos, isto significa que, em média, são evitadas 0,3 lesão fatal e 3 lesões não fatais por ano. Em valor, o efeito de segurança se traduz em um benefício de cerca de R\$ 135 mil por ano.

Quanto ao efeito de mobilidade, a Tabela 33 mostra que uma OT-I e um REV-10 geram, em média, um atraso de 5,9 segundos, o qual, ao considerar o volume de tráfego afetado, se transforma em um custo de aproximadamente R\$ 45 mil por ano.

O efeito ambiental de uma OT-I e de um REV-10 é, em média, a emissão adicional de 6.223 kg de monóxido de carbono e de 713 kg de hidrocarbonetos por ano, bem como a redução da emissão de óxido de nitrogênio em 32 kg. Considerando o volume de tráfego afetado, este efeito ambiental se traduz em um custo anual de aproximadamente R\$ 5 mil.

Por fim, ainda há o efeito energético, o qual é um gasto adicional de aproximadamente 19 mil litros de gasolina por ano. Considerando o volume de tráfego afetado, este efeito energético se traduz em um custo anual de aproximadamente R\$ 38 mil.

Em suma, uma OT-I e um REV-10 geram um benefício anual em torno de R\$ 135 mil devido ao efeito de segurança, e custos anuais de aproximadamente R\$ 5 mil, R\$ 38 mil e R\$ 45 mil, devido aos efeitos ambiental, energético e de mobilidade, respectivamente. Ou seja, os valores anuais dos efeitos ambiental, energético e de mobilidade correspondem a cerca de 3,8%, 28,2% e 33,4%, respectivamente, do valor do efeito de segurança.

Tabela 33 – Efeitos simulados da OT-I e do REV-10

| Variável | Média | CV | Mín. | Máx. |
|--|---------|------|---------|---------|
| Fator redutor de lesões fatais | 0,68 | 0,14 | 0,06 | 0,79 |
| Fator redutor de lesões não fatais | 0,42 | 0,18 | 0,03 | 0,52 |
| Lesões fatais evitadas (pessoas/ano) | 0,3 | 0,5 | 0,0 | 0,7 |
| Lesões não fatais evitadas (pessoas/ano) | 3,0 | 0,5 | 0,0 | 7,2 |
| Valor das lesões fatais evitadas (R\$/ano) | 58.910 | 0,5 | 846 | 131.952 |
| Valor das lesões não fatais evitadas (R\$/ano) | 76.460 | 0,5 | 1.111 | 181.026 |
| Valor das lesões evitadas (R\$/ano) | 135.370 | 0,5 | 1.956 | 312.465 |
| Tempo de viagem perdido (s/veículo) | 5,9 | 0,1 | 0,5 | 6,2 |
| Valor do tempo de viagem perdido (R\$/ano) | -45.213 | -0,4 | -95.241 | -90 |
| Aumento da poluição com monóxido de carbono (kg/ano) | 6.223 | 0,5 | 9 | 16.171 |
| Aumento da poluição com hidrocarbonetos (kg/ano) | 713 | 0,4 | 1 | 1.535 |
| Redução da poluição com óxido de nitrogênio (kg/ano) | -32 | -1,4 | -280 | 35 |
| Valor do aumento da poluição com monóxido de carbono (R\$/ano) | -3.111 | -0,5 | -8.086 | -4 |
| Valor do aumento da poluição com hidrocarbonetos (R\$/ano) | -2.124 | -0,4 | -4.573 | -4 |
| Valor da redução da poluição com óxido de nitrogênio (R\$/ano) | 95 | 1,4 | -103 | 821 |
| Valor do aumento da poluição (R\$/ano) | -5.141 | -0,5 | -12.635 | -8 |
| Aumento do consumo de combustível (l/ano) | 19.565 | 0,5 | 41 | 42.037 |
| Valor do aumento do consumo de combustível (R\$/ano) | -38.152 | -0,5 | -81.972 | -79 |

Fonte: Elaboração própria.

Nota: CV quer dizer coeficiente de variação. Valores em R\$ de janeiro de 2014.

5.1.1 OT-I

Considerando que uma OT-I tenha um custo inicial de R\$ 6 mil, um custo de manutenção de R\$ 600 por ano e uma vida útil de 5 anos, e que a taxa de desconto real seja de 6% ao ano, o valor presente do custo de implementação é de R\$ 8.009, o que torna o VPL médio de uma OT-I positivo em torno de R\$ 194 mil, correspondente a um CBC de 25,3 (vide Tabela 34).

Esta primeira análise mostra que a OT-I é custo-eficiente em média, e que tanto o VPL quanto o CBC possuem um coeficiente de variação (CV) relativamente alto (cerca de 1,5). Ainda que o VPL apresente um valor mínimo de -669.114 e um valor máximo de 1.154.925, o que indica que a viabilidade da OT-I depende em grande medida das condições de tráfego

vigentes no local em que se pretende implementá-la, 72,3% da distribuição está concentrada em valores positivos, o que permite afirmar que o dispositivo OT-I é custo-eficiente sob uma ampla variedade de condições de tráfego.

A seguir, será visto como o VPL se comporta à medida que varia, isoladamente, cada uma das três variáveis que descrevem as condições de tráfego da via.

Tabela 34 - ACB de uma OT-I

| Variável | Média | CV | Mín. | Máx. |
|---|----------|------|----------|-----------|
| Valor presente do efeito de segurança | 584.758 | 0,5 | 8.451 | 1.349.753 |
| Valor presente do efeito de mobilidade | -195.307 | -0,4 | -411.414 | -389 |
| Valor presente do efeito ambiental | -22.207 | -0,5 | -54.580 | -34 |
| Valor presente do efeito energético | -164.804 | -0,5 | -354.094 | -342 |
| Valor presente de todos os efeitos mensurados | 202.440 | 1,5 | -661.105 | 1.162.934 |
| Valor presente líquido | 194.431 | 1,6 | -669.114 | 1.154.925 |
| Coefficiente benefício-custo | 25,3 | 1,5 | -82,5 | 145,2 |

Fonte: Elaboração própria.

Nota: CV quer dizer coeficiente de variação. Valores em R\$ de janeiro de 2014. Vida útil dos dispositivos de 5 anos. Taxa de desconto de 6% a.a. Valor presente do custo de implementação de uma OT-I de R\$ 8.009.

Antes disso, contudo, convém observar que, dentre as variáveis *VFL*, *ACV* e *TMDA*, aquela que mais influencia o valor do VPL da OT-I é o número de *ACV*. Esta variável é responsável por 68,4% da variância do VPL, enquanto o *TMDA* e a *VFL* respondem por 27,5% e 4,0% da variância, respectivamente.

A análise por grupo de *VFL* revela que o VPL é positivo qualquer que seja a *VFL* (entre 15 e 80 km/h), e cresce à medida que a *VFL* aumenta (Figura 6). Tanto a emissão de poluentes – com exceção do óxido de nitrogênio – quanto o consumo de combustível e o tempo de percurso diminuem com o aumento da velocidade, fazendo com que a redução da velocidade provocada pela OT-I tenha um impacto tanto maior quanto mais elevada for a *VFL*. Esses efeitos vão gradualmente se sobrepondo ao efeito de segurança, fazendo com que o VPL cresça a taxas cada vez menores com o aumento da velocidade.

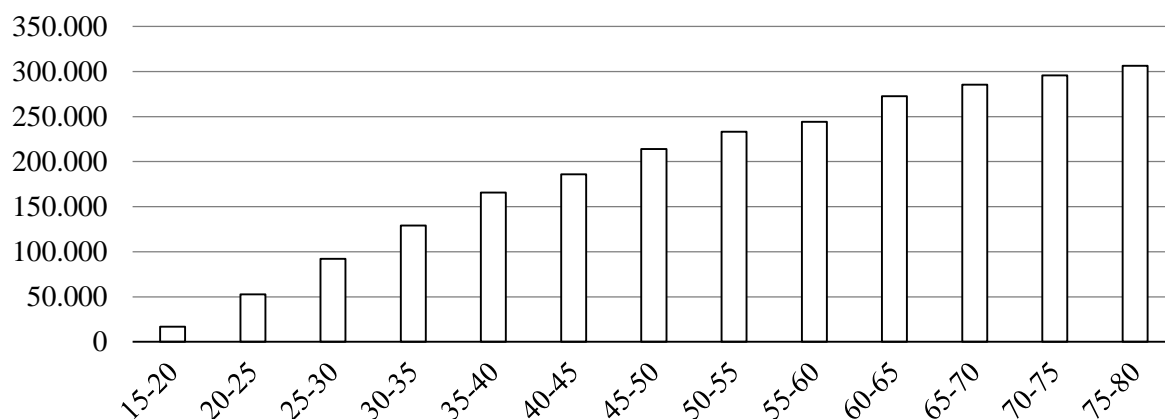


Figura 6 – VPL da OT-I por grupo de VFL

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Valores em R\$ de janeiro de 2014. Vida útil do dispositivo de 5 anos. Taxa de desconto de 6% a.a.

Na análise por grupo de ACV, verifica-se que o VPL é positivo para níveis de acidentalidade acima de três ACV, sendo tanto maior quanto maior for o número de ACV (Figura 7). O efeito de segurança torna-se tanto mais relevante quanto maior for o número de ACV.

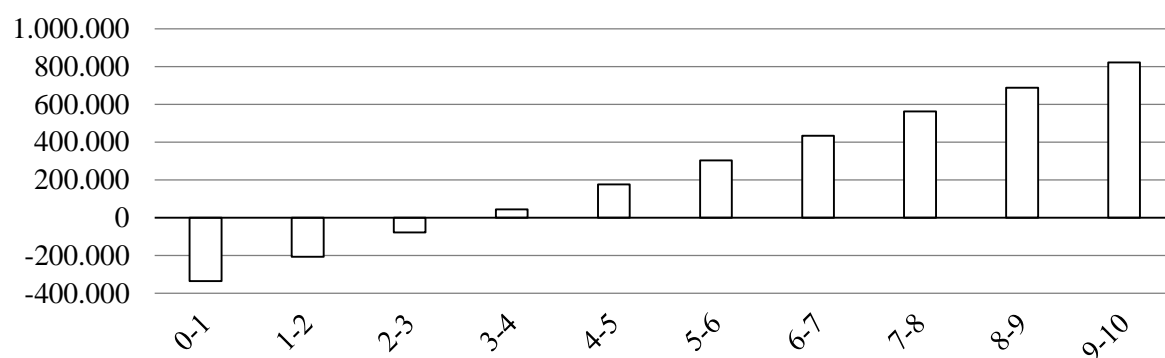


Figura 7 – VPL da OT-I por grupo de ACV

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Valores em R\$ de janeiro de 2014. Vida útil do dispositivo de 5 anos. Taxa de desconto de 6% a.a.

A análise por grupos de TMDA indica um VPL que decresce com o aumento do TMDA, sendo positivo para níveis de volume de tráfego de até 4.800 veículos por dia (Figura 8). Apesar dos efeitos de mobilidade, ambiental e energético reduzirem mais o VPL quanto maior for o volume de tráfego, o efeito de segurança (positivo) supera em valor todos os demais efeitos (negativos) para níveis de TMDA de até 4.800 veículos.

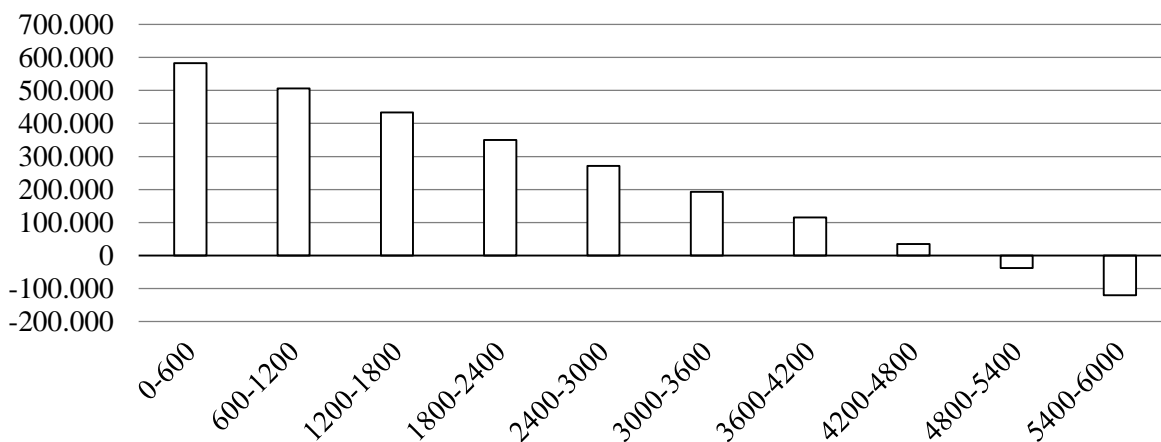


Figura 8 – VPL da OT-I por grupo de *TMDA*

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Valores em R\$ de janeiro de 2014. Vida útil do dispositivo de 5 anos. Taxa de desconto de 6% a.a.

Em suma, a análise por grupos de *VFL*, *ACV* e *TMDA* indica que a OT-I é tanto mais custo-eficiente quanto maior for a *VFL* da via, quanto maior for o número de *ACV* do trecho viário crítico e quanto menor for o *TMDA* da via.

A seguir é apresentada a terceira simulação, a qual busca auxiliar na definição mais precisa das condições necessárias para que a OT-I seja custo-eficiente. Esta simulação consiste na avaliação de todas as combinações possíveis entre grupos de *ACV* e *TMDA*.

Do total de 60 grupos, o VPL mínimo é positivo em 24 grupos (40%) e o VPL máximo é negativo em 12 grupos (20%). Em 39 grupos (65%) tanto a média quanto a mediana são positivas. Nestes grupos, há uma probabilidade acima de 50% de que a implementação de uma OT-I resulte em um VPL positivo.

A Tabela 35 indica, para cada grupo combinado de *ACV* e *TMDA*, a probabilidade de que a implementação de uma OT-I resulte em um VPL positivo. A análise desta tabela permite chegar às seguintes conclusões.

- A OT-I é custo-eficiente desde que implementada em trecho crítico com acidentalidade de pelo menos seis *ACV* por ano – acidentalidade esta que, na média do país, equivale a 0,5 óbito e 8,7 pessoas feridas.
- A OT-I não é custo-eficiente para vias com acidentalidade de até um *ACV* por ano – acidentalidade esta que, na média do país, equivale a 0,1 óbito e 1,4 pessoas feridas.
- Para trechos críticos com acidentalidade entre um e seis *ACV* por ano, a custo-eficiência da OT-I depende do volume de tráfego. Para que a OT-I seja custo-eficiente, é preciso que para cada intervalo de 1.000 veículos de *TMDA* haja pelo menos um *ACV*. Por exemplo, para um

TMDA de até 4.000 veículos é preciso que o trecho viário crítico apresente uma acidentalidade de pelo menos quatro *ACV* para que a *OT-I* seja custo eficiente.

Tabela 35 – Probabilidade percentual da *OT-I* resultar em um *VPL* positivo, por grupo combinado de *ACV* e *TMDA*

| <i>ACV</i> | <i>TMDA</i> | | | | | |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 0-1000 | 1000-2000 | 2000-3000 | 3000-4000 | 4000-5000 | 5000-6000 |
| 0-1 | 40,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1-2 | 99,8 | 39,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2-3 | 100,0 | 98,7 | 38,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 3-4 | 100,0 | 100,0 | 96,2 | 40,2 | 0,1 | 0,0 |
| 4-5 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 93,2 | 41,7 | 0,2 |
| 5-6 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 99,7 | 89,3 | 43,6 |
| 6-7 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 99,0 | 85,7 |
| 7-8 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 97,2 |
| 8-9 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 99,9 |
| 9-10 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Valores acima de 50% estão em negrito.

O último passo da *ACB* da *OT-I* é a análise de sensibilidade dos resultados aos parâmetros utilizados no modelo. Para efeito de comparação, foram incluídas também as variáveis *VFL*, *ACV* e *TMDA* nesta análise. Como medida de sensibilidade é usada a contribuição de cada parâmetro ou variável à variância do *VPL*. Os resultados desta análise mostram que o número de *ACV* é a variável que mais influencia o *VPL* da *OT-I*, respondendo por 63,9% da sua variância (vide Figura 9). Dentre os parâmetros, o mais relevante é a proporção de lesões fatais por *ACV*, que responde por 4,7% da variância, seguido do valor de lesão fatal (3,0%), do valor de lesão não fatal (2,7%) e da vida útil da *OT-I* (1,9%). Os demais parâmetros, em conjunto, não respondem por mais de 2,7% da variância do *VPL*. A *VFL* não explica mais 5,9% da variância do *VPL* da *OT-I*.

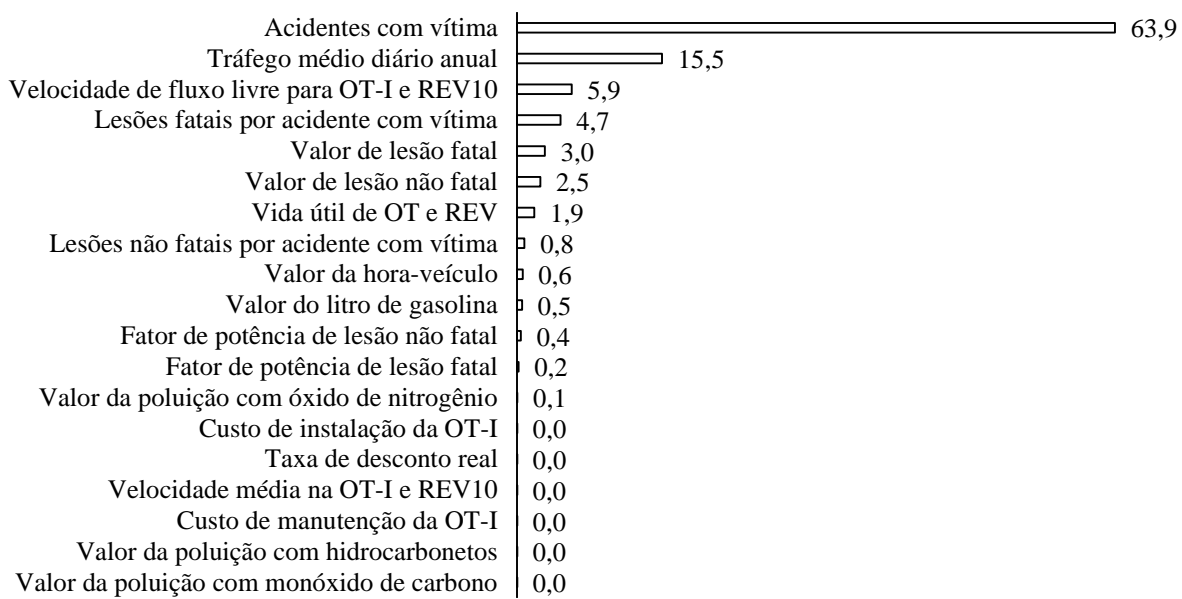


Figura 9 – Análise de sensibilidade da OT-I, de acordo com a contribuição dos parâmetros à variância do VPL

Fonte: Elaboração própria.

5.1.2 REV-10

Considerando que um REV tenha um custo de manutenção de R\$ 120 mil por ano e uma vida útil de 5 anos, e que a taxa de desconto real seja de 6% ao ano, o valor presente do custo de implementação é de R\$ 401.893, o que torna o VPL médio de um REV-10 negativo em torno de R\$ -199 mil, correspondente a um CBC de 0,5 (vide Tabela 36).

Esta primeira análise mostra que o REV-10 não é custo-eficiente em média, e que tanto o VPL quanto o CBC possuem um coeficiente de variação (CV) relativamente alto (cerca de 1,5). O VPL apresenta um valor mínimo de -1.063.809 e um valor máximo de 783.274, o que indica que a viabilidade do REV-10 depende em grande medida das condições de tráfego vigentes no local em que se pretende implementá-la. 73,8% da distribuição está concentrada em valores negativos, o que permite afirmar que o dispositivo REV-10 é custo-eficiente sob uma gama reduzida de condições de tráfego.

A seguir, será visto como o VPL se comporta à medida que varia, isoladamente, cada uma das três variáveis que descrevem as condições de tráfego da via.

Tabela 36 – ACB de um REV-10

| Variável | Média | CV | Mín. | Máx. |
|---|----------|------|------------|-----------|
| Valor presente do efeito de segurança | 584.758 | 0,5 | 8.451 | 1.349.753 |
| Valor presente do efeito de mobilidade | -195.307 | -0,4 | -411.414 | -389 |
| Valor presente do efeito ambiental | -22.207 | -0,5 | -54.580 | -34 |
| Valor presente do efeito energético | -164.804 | -0,5 | -354.094 | -342 |
| Valor presente de todos os efeitos mensurados | 202.440 | 1,5 | -661.105 | 1.162.934 |
| Valor presente líquido | -199.363 | -1,6 | -1.063.809 | 783.274 |
| Coefficiente benefício-custo | 0,5 | 1,5 | -1,6 | 2,9 |

Fonte: Elaboração própria.

Nota: CV quer dizer coeficiente de variação. Valores em R\$ de janeiro de 2014. Vida útil dos dispositivos de 5 anos. Taxa de desconto de 6% a.a. Valor presente do custo de implementação de um REV de R\$ 401.893.

Antes disso, contudo, convém observar que, dentre as variáveis *VFL*, *ACV* e *TMDA*, aquela que mais influencia o valor do VPL do REV-10 é o número de *ACV*. Esta variável é responsável por 68,0% da variância do VPL, enquanto o *TMDA* e a *VFL* respondem por 27,8% e 4,3% da variância, respectivamente.

A análise por grupo de *VFL* revela que o VPL é negativo qualquer que seja a *VFL* (entre 15 e 80 km/h), e cresce à medida que a *VFL* aumenta (Figura 10). Tanto a emissão de poluentes – com exceção do óxido de nitrogênio – quanto o consumo de combustível e o tempo de percurso diminuem com o aumento da velocidade, fazendo com que a redução da velocidade provocada pelo REV-10 tenha um impacto tanto maior quanto mais elevada for a *VFL*. Esses efeitos vão gradualmente se sobrepondo ao efeito de segurança, fazendo com que o VPL cresça a taxas cada vez menores com o aumento da velocidade.

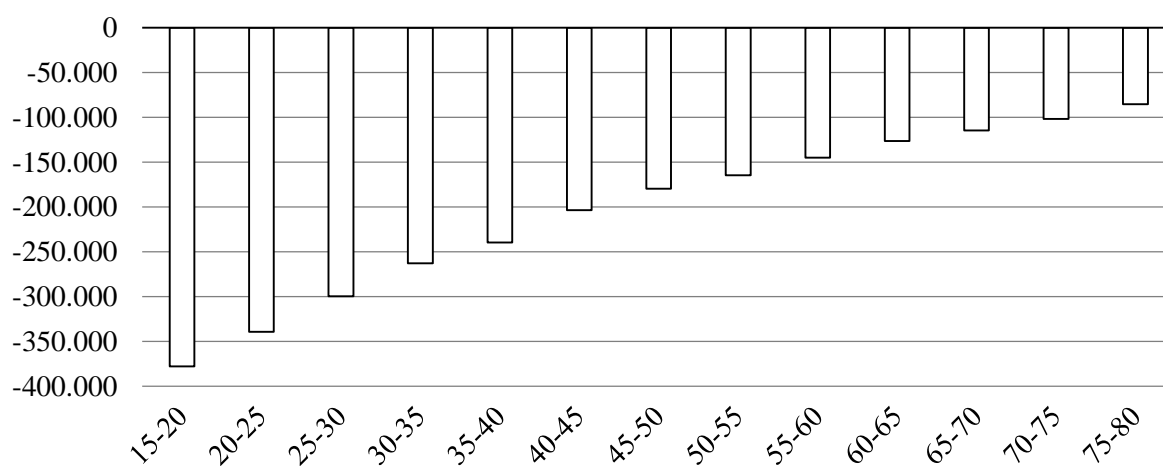


Figura 10 – VPL do REV-10 por grupo de *VFL*

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Valores em R\$ de janeiro de 2014. Vida útil do dispositivo de 5 anos. Taxa de desconto de 6% a.a.

Na análise por grupo de *ACV*, verifica-se que o VPL é positivo para níveis de acidentalidade acima de seis *ACV*, sendo tanto maior quanto maior for o número de *ACV* (Figura 11). O efeito de segurança torna-se tanto mais relevante quanto maior for o número de *ACV*.

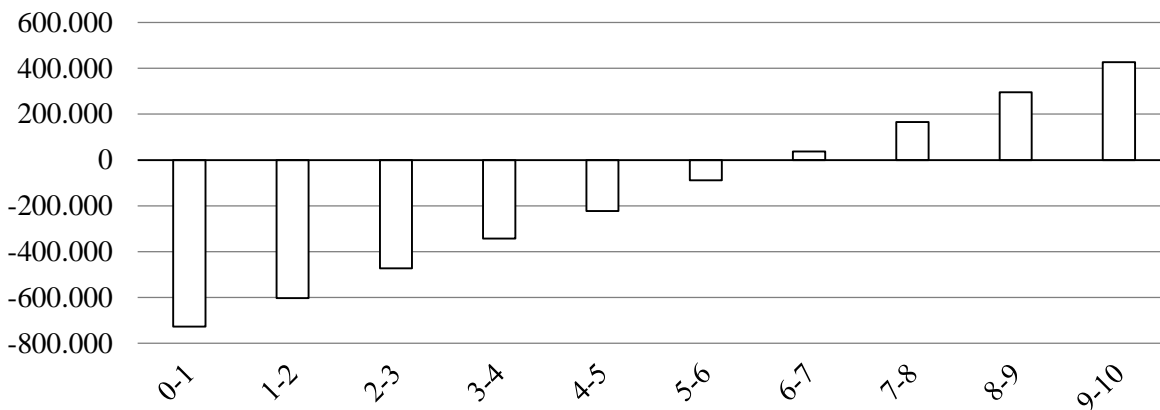


Figura 11 – VPL do REV-10 por grupo de *ACV*

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Valores em R\$ de janeiro de 2014. Vida útil do dispositivo de 5 anos. Taxa de desconto de 6% a.a.

A análise por grupos de *TMDA* indica um VPL que decresce com o aumento do *TMDA*, sendo positivo para níveis de volume de tráfego de até 1.800 veículos por dia (Figura 12). Apesar dos efeitos de mobilidade, ambiental e energético reduzirem mais o VPL quanto maior for o volume de tráfego, o efeito de segurança (positivo) supera em valor todos os demais efeitos (negativos) para níveis de *TMDA* de até 1.800 veículos.

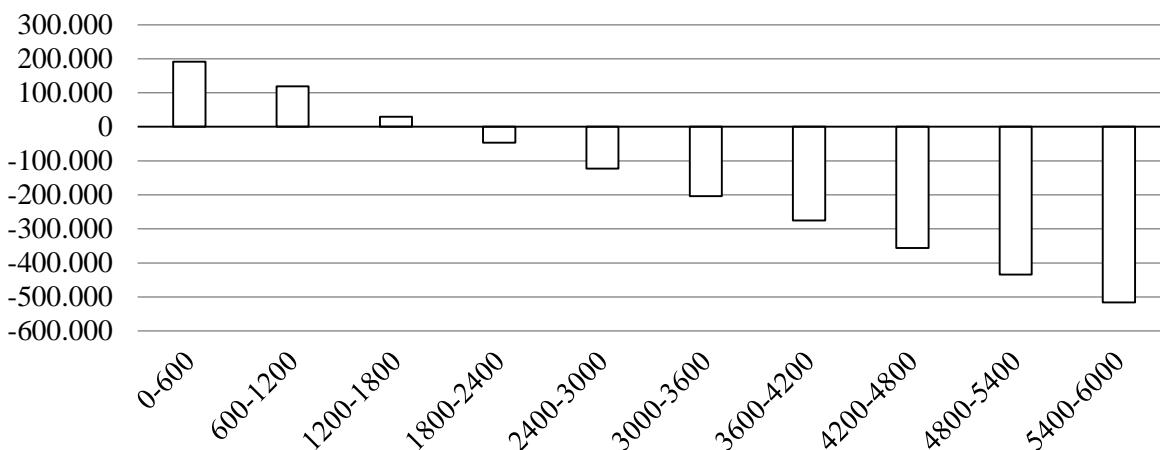


Figura 12 – VPL do REV-10 por grupo de *TMDA*

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Valores em R\$ de janeiro de 2014. Vida útil do dispositivo de 5 anos. Taxa de desconto de 6% a.a.

Em suma, a análise por grupos de *VFL*, *ACV* e *TMDA* indica que o REV-10 é tanto mais custo-eficiente quanto maior for a *VFL* da via, quanto maior for o número de *ACV* do trecho viário crítico e quanto menor for o *TMDA* da via.

A seguir é apresentada a terceira simulação, a qual busca auxiliar na definição mais precisa das condições necessárias para que o REV-10 seja custo-eficiente. Esta simulação consiste na avaliação de todas as combinações possíveis entre grupos de *ACV* e *TMDA*.

Do total de 60 grupos, o VPL mínimo é positivo em nenhum grupo e o VPL máximo é negativo em 28 grupos (47%). Em 21 grupos (35%) tanto a média quanto a mediana são positivas. Nestes grupos, há uma probabilidade acima de 50% de que a implementação de um REV-10 resulte em um VPL positivo.

A Tabela 37 – Probabilidade percentual do REV-10 resultar em um VPL positivo, por grupo combinado de *ACV* e *TMDA*

| <i>ACV</i> | <i>TMDA</i> | | | | | |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0-1000 | 1000-2000 | 2000-3000 | 3000-4000 | 4000-5000 | 5000-6000 |
| 0-1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1-2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2-3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 3-4 | 41,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 4-5 | 91,4 | 41,6 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 5-6 | 96,9 | 87,9 | 43,4 | 0,4 | 0,0 | 0,0 |
| 6-7 | 98,4 | 96,0 | 86,1 | 45,5 | 0,7 | 0,0 |
| 7-8 | 99,1 | 98,4 | 94,8 | 83,5 | 46,8 | 1,3 |
| 8-9 | 99,4 | 99,0 | 97,6 | 93,6 | 81,2 | 47,0 |
| 9-10 | 99,6 | 99,4 | 98,9 | 97,0 | 92,4 | 79,6 |

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Valores acima de 50% estão em negrito.

O último passo da ACB do REV-10 é a análise de sensibilidade dos resultados aos parâmetros utilizados no modelo. Para efeito de comparação, foram incluídas também as variáveis *VFL*, *ACV* e *TMDA* nesta análise. Como medida de sensibilidade é usada a contribuição de cada parâmetro ou variável à variância do VPL. Os resultados desta análise mostram que o número de *ACV* é a variável que mais influencia o VPL do REV-10, respondendo por 58,4% da sua variância (vide Figura 13). Dentre os parâmetros, o mais relevante é o custo de manutenção do REV-10, que responde por 7,3% da variância, seguido da proporção de lesões fatais por *ACV* (5,5%), da vida útil do REV-10 (4,5%), do valor de lesão não fatal (2,8%) e do valor de lesão fatal (2,6%). Os demais parâmetros, em conjunto, não

respondem por mais de 2,2% da variância do VPL. A *VFL* não explica mais 5,1% da variância do VPL do REV-10.

indica, para cada grupo combinado de *ACV* e *TMDA*, a probabilidade de que a implementação de um REV-10 resulte em um VPL positivo. A análise desta tabela permite chegar às seguintes conclusões.

- O REV-10 é custo-eficiente desde que implementada em trecho crítico com acidentalidade de pelo menos nove *ACV* por ano – acidentalidade esta que, na média do país, equivale a 0,8 óbito e 13 pessoas feridas.
- O REV-10 não é custo-eficiente para vias com acidentalidade de até quatro *ACV* por ano – acidentalidade esta que, na média do país, equivale a 0,4 óbito e 5,8 pessoas feridas.
- Para trechos críticos com acidentalidade entre quatro e nove *ACV* por ano, a custo-eficiência do REV-10 depende do volume de tráfego. Para que o REV-10 seja custo-eficiente, é preciso que haja pelo menos três *ACV*, e que para cada intervalo de 1.000 veículos de *TMDA* haja pelo menos mais um *ACV*. Por exemplo, para um *TMDA* de até 4.000 veículos é preciso que o trecho viário crítico apresente uma acidentalidade de pelo menos (3+4=) sete *ACV* para que o REV-10 seja custo eficiente.

Tabela 37 – Probabilidade percentual do REV-10 resultar em um VPL positivo, por grupo combinado de *ACV* e *TMDA*

| <i>ACV</i> | <i>TMDA</i> | | | | | |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0-1000 | 1000-2000 | 2000-3000 | 3000-4000 | 4000-5000 | 5000-6000 |
| 0-1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1-2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2-3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 3-4 | 41,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 4-5 | 91,4 | 41,6 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 5-6 | 96,9 | 87,9 | 43,4 | 0,4 | 0,0 | 0,0 |
| 6-7 | 98,4 | 96,0 | 86,1 | 45,5 | 0,7 | 0,0 |
| 7-8 | 99,1 | 98,4 | 94,8 | 83,5 | 46,8 | 1,3 |
| 8-9 | 99,4 | 99,0 | 97,6 | 93,6 | 81,2 | 47,0 |
| 9-10 | 99,6 | 99,4 | 98,9 | 97,0 | 92,4 | 79,6 |

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Valores acima de 50% estão em negrito.

O último passo da ACB do REV-10 é a análise de sensibilidade dos resultados aos parâmetros utilizados no modelo. Para efeito de comparação, foram incluídas também as variáveis *VFL*, *ACV* e *TMDA* nesta análise. Como medida de sensibilidade é usada a

contribuição de cada parâmetro ou variável à variância do VPL. Os resultados desta análise mostram que o número de *ACV* é a variável que mais influencia o VPL do REV-10, respondendo por 58,4% da sua variância (vide Figura 13). Dentre os parâmetros, o mais relevante é o custo de manutenção do REV-10, que responde por 7,3% da variância, seguido da proporção de lesões fatais por *ACV* (5,5%), da vida útil do REV-10 (4,5%), do valor de lesão não fatal (2,8%) e do valor de lesão fatal (2,6%). Os demais parâmetros, em conjunto, não respondem por mais de 2,2% da variância do VPL. A *VFL* não explica mais 5,1% da variância do VPL do REV-10.

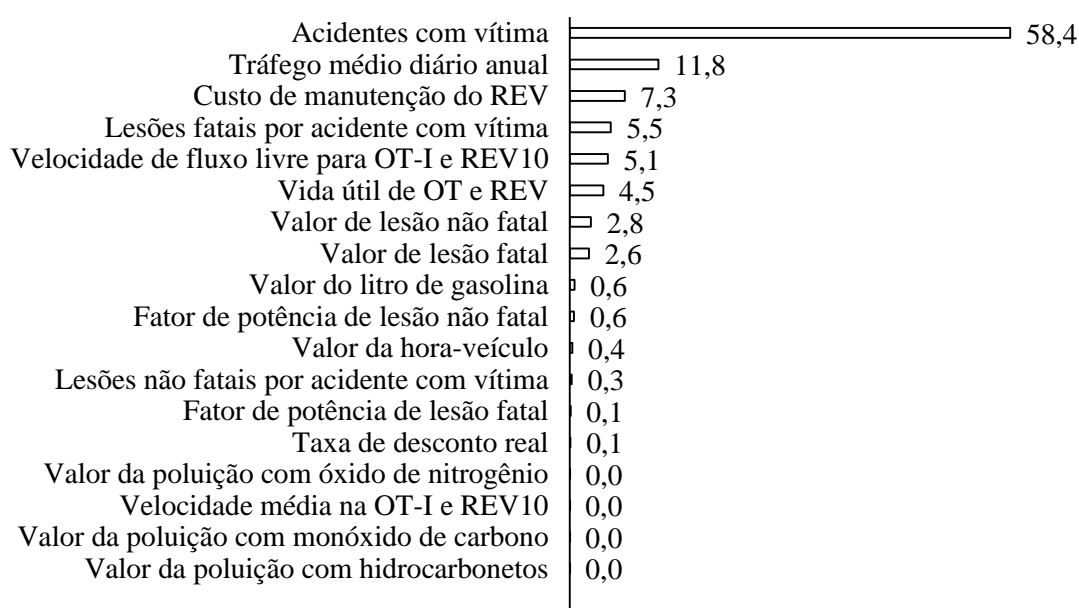


Figura 13 – Análise de sensibilidade do REV-10, de acordo com a contribuição dos parâmetros à variância do VPL

Fonte: Elaboração própria.

5.2 OT-II e REV-15

Esta seção apresenta os resultados para os dispositivos OT-II e REV-15, os quais tem em comum a característica de reduzir a velocidade de tráfego em um ponto específico a 20 km/h. No nosso modelo, ambos os dispositivos possuem exatamente os mesmos efeitos, exceto o custo de implementação.

Os efeitos simulados da OT-II e do REV-15 estão reportados na Tabela 38. Quanto ao efeito de segurança, esta tabela informa que, sob condições bastante gerais (vide seção 4.5.1), a OT-II e o REV-15 reduzem o número de vítimas fatais em acidentes de trânsito em 62%, em

média. O número de lesões não fatais, por sua vez, é reduzido em 37%, em média. A constatação de que ela reduz efetivamente o número de acidentes, no entanto, é uma decorrência da forma como foi modelado o efeito de segurança. Em termos absolutos, isto significa que, em média, são evitadas 0,3 lesão fatal e 2,7 lesões não fatais por ano. Em valor, o efeito de segurança se traduz em um benefício de cerca de R\$ 121 mil por ano.

Quanto ao efeito de mobilidade, a Tabela 38 informa que uma OT-II e um REV-15 geram, em média, um atraso de 4,3 segundos, o qual, ao considerar o volume de tráfego afetado, se transforma em um custo de aproximadamente R\$ 33 mil por ano.

Tabela 38 – Efeitos simulados da OT-II e do REV-15

| Variável | Média | CV | Mín. | Máx. |
|--|---------|------|---------|---------|
| Fator redutor de lesões fatais | 0,62 | 0,18 | 0,02 | 0,76 |
| Fator redutor de lesões não fatais | 0,37 | 0,22 | 0,01 | 0,48 |
| Lesões fatais evitadas (pessoas/ano) | 0,3 | 0,5 | 0,0 | 0,6 |
| Lesões não fatais evitadas (pessoas/ano) | 2,7 | 0,5 | 0,0 | 6,4 |
| Valor das lesões fatais evitadas (R\$/ano) | 53.668 | 0,5 | 448 | 122.911 |
| Valor das lesões não fatais evitadas (R\$/ano) | 67.465 | 0,5 | 451 | 162.046 |
| Valor das lesões evitadas (R\$/ano) | 121.133 | 0,5 | 899 | 284.957 |
| Tempo de viagem perdido (s/veículo) | 4,3 | 0,1 | 0,2 | 4,7 |
| Valor do tempo de viagem perdido (R\$/ano) | -32.644 | -0,5 | -70.629 | -263 |
| Aumento da poluição com monóxido de carbono (kg/ano) | 4.319 | 0,5 | 53 | 10.943 |
| Aumento da poluição com hidrocarbonetos (kg/ano) | 546 | 0,5 | 5 | 1.167 |
| Redução da poluição com óxido de nitrogênio (kg/ano) | -11 | -3,3 | -186 | 64 |
| Valor do aumento da poluição com monóxido de carbono (R\$/ano) | -2.160 | -0,5 | -5.471 | -26 |
| Valor do aumento da poluição com hidrocarbonetos (R\$/ano) | -1.628 | -0,5 | -3.477 | -16 |
| Valor da redução da poluição com óxido de nitrogênio (R\$/ano) | 31 | 3,3 | -186 | 544 |
| Valor do aumento da poluição (R\$/ano) | -3.756 | -0,5 | -8.927 | -42 |
| Aumento do consumo de combustível (l/ano) | 15.790 | 0,5 | 119 | 38.063 |
| Valor do aumento do consumo de combustível (R\$/ano) | -30.790 | -0,5 | -74.224 | -233 |

Fonte: Elaboração própria.

Nota: CV quer dizer coeficiente de variação. Valores em R\$ de janeiro de 2014.

O efeito ambiental de uma OT-II e de um REV-15 é, em média, a emissão adicional de 4.319 kg de monóxido de carbono e de 546 kg de hidrocarbonetos por ano, bem como a redução

da emissão de óxido de nitrogênio em 11 kg. Considerando o volume de tráfego afetado, este efeito ambiental se traduz em um custo anual de aproximadamente R\$ 4 mil.

Por fim, ainda há o efeito energético, o qual é um gasto adicional de aproximadamente 16 mil litros de gasolina por ano. Considerando o volume de tráfego afetado, este efeito energético se traduz em um custo anual de aproximadamente R\$ 31 mil.

Em suma, uma OT-II e um REV-15 geram um benefício anual em torno de R\$ 121 mil devido ao efeito de segurança, e custos anuais de aproximadamente R\$ 4 mil, R\$ 31 mil e R\$ 33 mil, devido aos efeitos ambiental, energético e de mobilidade, respectivamente. Ou seja, os valores anuais dos efeitos ambiental, energético e de mobilidade correspondem a cerca de 3,1%, 25,4% e 26,9%, respectivamente, do valor do efeito de segurança.

5.2.1 OT-II

Considerando que uma OT-II tenha um custo inicial de R\$ 9 mil, um custo de manutenção de R\$ 900 por ano e uma vida útil de 5 anos, e que a taxa de desconto real seja de 6% ao ano, o valor presente do custo de implementação é de R\$ 12.014, o que torna o VPL médio de uma OT-II positivo em torno de R\$ 221 mil, correspondente a um CBC de 19,4 (vide Tabela 39).

Tabela 39 – ACB de uma OT-II

| Variável | Média | CV | Mín. | Máx. |
|---|----------|------|----------|-----------|
| Valor presente do efeito de segurança | 523.259 | 0,5 | 3.884 | 1.230.928 |
| Valor presente do efeito de mobilidade | -141.013 | -0,5 | -305.095 | -1.134 |
| Valor presente do efeito ambiental | -16.223 | -0,5 | -38.564 | -183 |
| Valor presente do efeito energético | -133.005 | -0,5 | -320.624 | -1.006 |
| Valor presente de todos os efeitos mensurados | 233.017 | 1,2 | -576.282 | 1.113.188 |
| Valor presente líquido | 221.003 | 1,2 | -588.296 | 1.101.173 |
| Coefficiente benefício-custo | 19,4 | 1,2 | -48,0 | 92,7 |

Fonte: Elaboração própria.

Nota: CV quer dizer coeficiente de variação. Valores em R\$ de janeiro de 2014. Vida útil dos dispositivos de 5 anos. Taxa de desconto de 6% a.a. Valor presente do custo de implementação de uma OT-II de R\$ 12.014.

Esta primeira análise mostra que a OT-II é custo-eficiente em média, e que tanto o VPL quanto o CBC possuem um coeficiente de variação (CV) relativamente alto (cerca de 1,2). Ainda que o VPL apresente um valor mínimo de -588.296 e um valor máximo de 1.101.173, o que indica que a viabilidade da OT-II depende em grande medida das condições de tráfego vigentes no local em que se pretende implementá-la, 77,5% da distribuição está concentrada

em valores positivos, o que permite afirmar que o dispositivo OT-II é custo-eficiente sob uma ampla variedade de condições de tráfego.

A seguir, será visto como o VPL se comporta à medida que varia, isoladamente, cada uma das três variáveis que descrevem as condições de tráfego da via.

Antes disso, contudo, convém observar que, dentre as variáveis *VFL*, *ACV* e *TMDA*, aquela que mais influencia o valor do VPL da OT-II é o número de *ACV*. Esta variável é responsável por 73,8% da variância do VPL, enquanto o *TMDA* e a *VFL* respondem por 20,8% e 5,4% da variância, respectivamente.

A análise por grupo de *VFL* revela que o VPL é positivo qualquer que seja a *VFL* (entre 20 e 80 km/h), e cresce à medida que a *VFL* aumenta (Figura 14). Tanto a emissão de poluentes – com exceção do óxido de nitrogênio – quanto o consumo de combustível e o tempo de percurso diminuem com o aumento da velocidade, fazendo com que a redução da velocidade provocada pela OT-II tenha um impacto tanto maior quanto mais elevada for a *VFL*. Esses efeitos vão gradualmente se sobrepondo ao efeito de segurança, fazendo com que o VPL cresça a taxas cada vez menores com o aumento da velocidade.

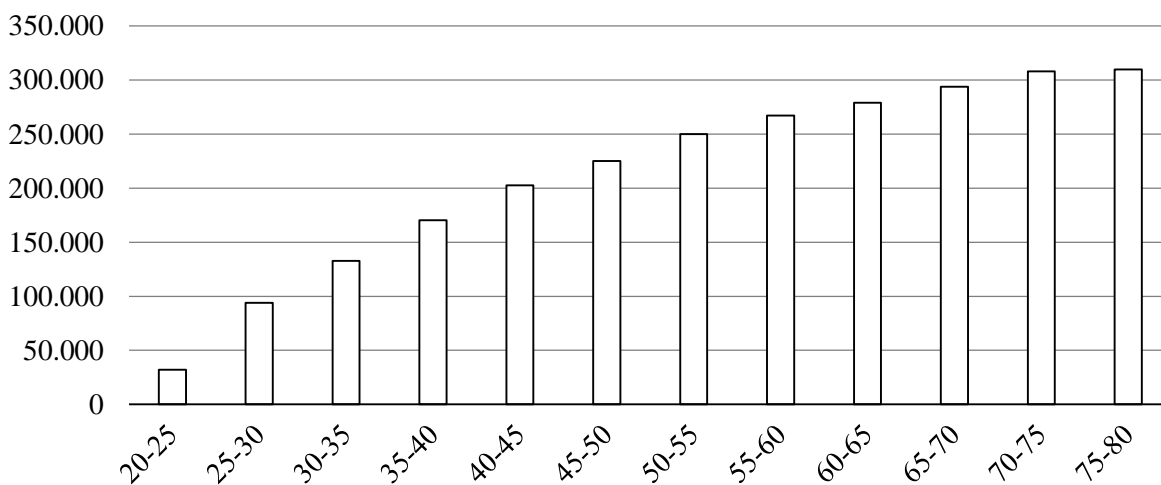


Figura 14 – VPL da OT-II por grupo de *VFL*

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Valores em R\$ de janeiro de 2014. Vida útil do dispositivo de 5 anos. Taxa de desconto de 6% a.a.

Na análise por grupo de *ACV*, verifica-se que o VPL é positivo para níveis de acidentalidade acima de três *ACV*, sendo tanto maior quanto maior for o número de *ACV* (Figura 15). O efeito de segurança torna-se tanto mais relevante quanto maior for o número de *ACV*.

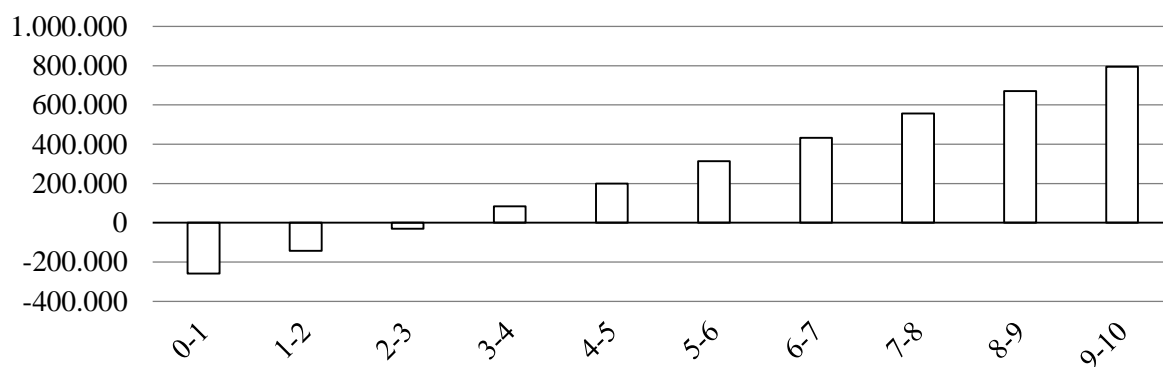


Figura 15 – VPL da OT-II por grupo de ACV

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Valores em R\$ de janeiro de 2014. Vida útil do dispositivo de 5 anos. Taxa de desconto de 6% a.a.

A análise por grupos de *TMDA* indica um VPL que decresce com o aumento do *TMDA*, sendo positivo para níveis de volume de tráfego de até 5.400 veículos por dia (Figura 16). Apesar dos efeitos de mobilidade, ambiental e energético reduzirem mais o VPL quanto maior for o volume de tráfego, o efeito de segurança (positivo) supera em valor todos os demais efeitos (negativos) para níveis de *TMDA* de até 5.400 veículos.

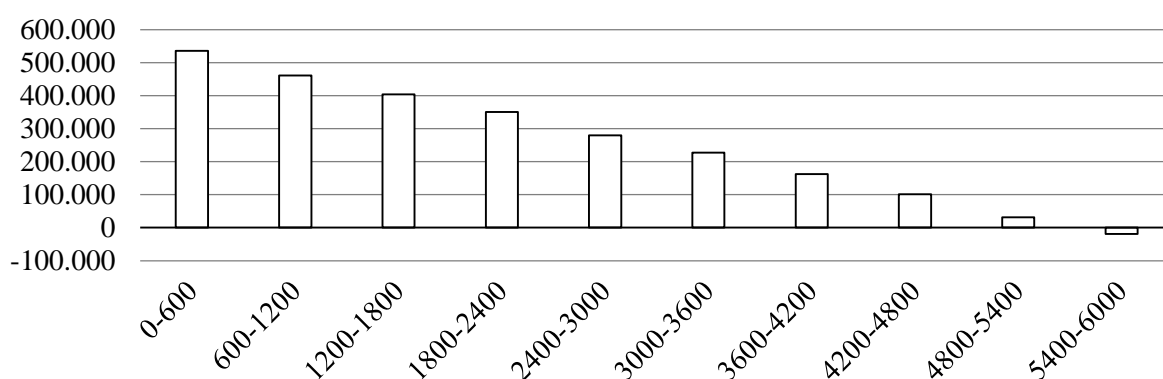


Figura 16 – VPL da OT-II por grupo de *TMDA*

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Valores em R\$ de janeiro de 2014. Vida útil do dispositivo de 5 anos. Taxa de desconto de 6% a.a.

Em suma, a análise por grupos de *VFL*, *ACV* e *TMDA* indica que a OT-II é tanto mais custo-eficiente quanto maior for a *VFL* da via, quanto maior for o número de *ACV* do trecho viário crítico e quanto menor for o *TMDA* da via.

A seguir é apresentada a terceira simulação, a qual busca auxiliar na definição mais precisa das condições necessárias para que a OT-II seja custo-eficiente. Esta simulação consiste na avaliação de todas as combinações possíveis entre grupos de *ACV* e *TMDA*.

Do total de 60 grupos, o VPL mínimo é positivo em 22 grupos (37%) e o VPL máximo é negativo em 11 grupos (18%). Em 44 grupos (73%) tanto a média quanto a mediana são positivas. Nestes grupos, há uma probabilidade acima de 50% de que a implementação de uma OT-II resulte em um VPL positivo.

A Tabela 40 indica, para cada grupo combinado de *ACV* e *TMDA*, a probabilidade de que a implementação de uma OT-II resulte em um VPL positivo. A análise desta tabela permite chegar às seguintes conclusões.

- A OT-II é custo-eficiente desde que implementada em trecho crítico com acidentalidade de pelo menos cinco *ACV* por ano – acidentalidade esta que, na média do país, equivale a 0,4 óbito e 7,2 pessoas feridas.
- A OT-II não é custo-eficiente para vias com acidentalidade de até um *ACV* por ano – acidentalidade esta que, na média do país, equivale a 0,1 óbito e 1,4 pessoas feridas.
- Em trechos críticos com *TMDA* de até 2.000 veículos, a OT-II é custo-eficiente desde que haja uma acidentalidade equivalente a pelo menos um *ACV*.
- Para trechos críticos com acidentalidade entre um e seis *ACV* por ano, a custo-eficiência da OT-II depende do volume de tráfego. Para que a OT-II seja custo-eficiente, é preciso que para cada intervalo de 1.000 veículos de *TMDA* haja pelo menos um *ACV*. Por exemplo, para um *TMDA* entre 3.000 e 4.000 veículos é preciso que o trecho viário crítico apresente uma acidentalidade de pelo menos três *ACV* para que a OT-II seja custo eficiente.

Tabela 40 – Probabilidade percentual da OT-II resultar em um VPL positivo, por grupo combinado de *ACV* e *TMDA*

| <i>ACV</i> | <i>TMDA</i> | | | | | |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 0-1000 | 1000-2000 | 2000-3000 | 3000-4000 | 4000-5000 | 5000-6000 |
| 0-1 | 43,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1-2 | 99,9 | 58,6 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2-3 | 100,0 | 99,9 | 69,1 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| 3-4 | 100,0 | 100,0 | 99,8 | 77,0 | 4,6 | 0,0 |
| 4-5 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 99,7 | 81,8 | 10,8 |
| 5-6 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 99,6 | 84,1 |
| 6-7 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 99,2 |
| 7-8 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| 8-9 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| 9-10 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Valores acima de 50% estão em negrito.

O último passo da ACB da OT-II é a análise de sensibilidade dos resultados aos parâmetros utilizados no modelo. Para efeito de comparação, foram incluídas também as variáveis *VFL*, *ACV* e *TMDA* nesta análise. Como medida de sensibilidade é usada a contribuição de cada parâmetro ou variável à variância do VPL. Os resultados desta análise mostram que o número de *ACV* é a variável que mais influencia o VPL da OT-II, respondendo por 65,9% da sua variância (vide Figura 17). Dentre os parâmetros, o mais relevante é a proporção de lesões fatais por *ACV*, que responde por 5,3% da variância, seguido da vida útil da OT-II (3,5%), do valor de lesão não fatal (2,8%) e do valor de lesão fatal (2,7%) e. Os demais parâmetros, em conjunto, não respondem por mais de 2,1% da variância do VPL. A *VFL* não explica mais de 6,8% da variância do VPL da OT-II.

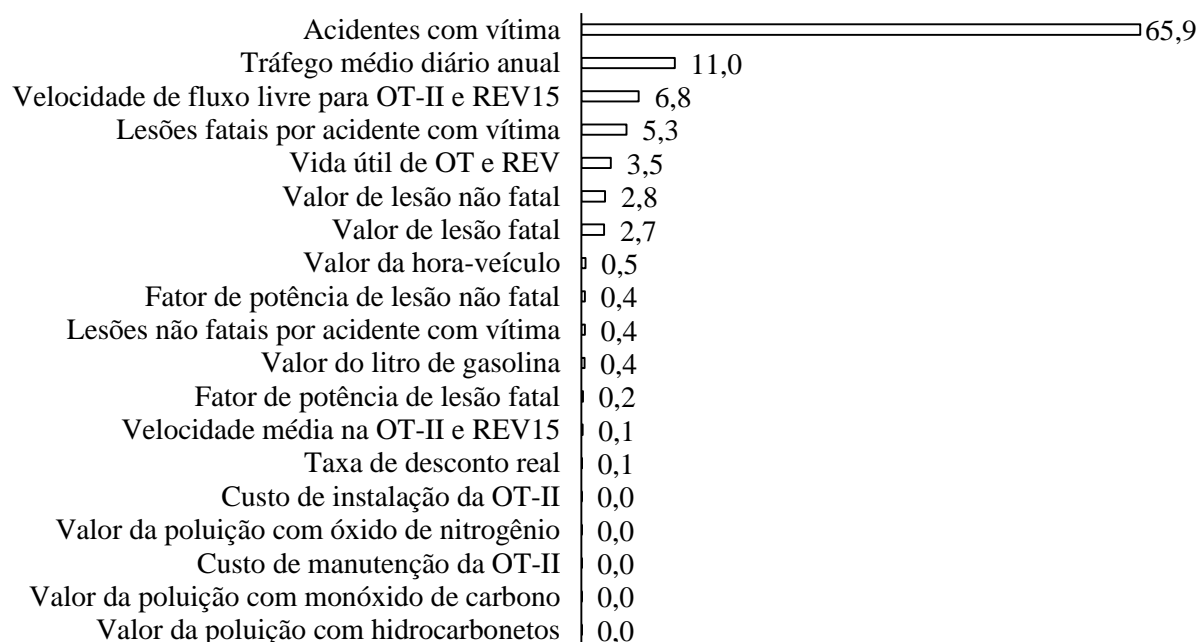


Figura 17 – Análise de sensibilidade da OT-II, de acordo com a contribuição dos parâmetros à variância do VPL

Fonte: Elaboração própria.

5.2.2 REV-15

Considerando que um REV tenha um custo de manutenção de R\$ 120 mil por ano e uma vida útil de 5 anos, e que a taxa de desconto real seja de 6% ao ano, o valor presente do custo de implementação é de R\$ 401.893, o que torna o VPL médio de um REV-15 negativo em torno de R\$ -167 mil, correspondente a um CBC de 0,6 (vide Tabela 41).

Esta primeira análise mostra que o REV-15 não é custo-eficiente em média, e que tanto o VPL quanto o CBC possuem um coeficiente de variação (CV) relativamente alto (1,6 e 1,2, respectivamente). O VPL apresenta um valor mínimo de -933.853 e um valor máximo de 729.894, o que indica que a viabilidade do REV-15 depende em grande medida das condições de tráfego vigentes no local em que se pretende implementá-la. 73,1% da distribuição está concentrada em valores negativos, o que permite afirmar que o dispositivo REV-15 é custo-eficiente sob uma gama bastante reduzida de condições de tráfego.

A seguir, será visto como o VPL se comporta à medida que varia, isoladamente, cada uma das três variáveis que descrevem as condições de tráfego da via.

Tabela 41 – ACB de um REV-15

| Variável | Média | CV | Mín. | Máx. |
|---|----------|------|----------|-----------|
| Valor presente do efeito de segurança | 525.647 | 0,5 | 5.227 | 1.252.493 |
| Valor presente do efeito de mobilidade | -141.241 | -0,5 | -308.307 | -1.491 |
| Valor presente do efeito ambiental | -16.319 | -0,5 | -37.949 | -154 |
| Valor presente do efeito energético | -133.076 | -0,5 | -317.332 | -1.429 |
| Valor presente de todos os efeitos mensurados | 235.012 | 1,2 | -531.960 | 1.131.787 |
| Valor presente líquido | -166.881 | -1,6 | -933.853 | 729.894 |
| Coeficiente benefício-custo | 0,6 | 1,2 | -1,3 | 2,8 |

Fonte: Elaboração própria.

Nota: CV quer dizer coeficiente de variação. Valores em R\$ de janeiro de 2014. Vida útil dos dispositivos de 5 anos. Taxa de desconto de 6% a.a. Valor presente do custo de implementação de um REV de R\$ 401.893.

Antes disso, contudo, convém observar que, dentre as variáveis *VFL*, *ACV* e *TMDA*, aquela que mais influencia o valor do VPL do REV-15 é o número de *ACV*. Esta variável é responsável por 74,4% da variância do VPL, enquanto o *TMDA* e a *VFL* respondem por 20,4% e 5,2% da variância, respectivamente.

A análise por grupo de *VFL* revela que o VPL é negativo qualquer que seja a *VFL* (entre 20 e 80 km/h), e cresce à medida que a *VFL* aumenta (Figura 18). Tanto a emissão de poluentes – com exceção do óxido de nitrogênio – quanto o consumo de combustível e o tempo de percurso diminuem com o aumento da velocidade, fazendo com que a redução da velocidade provocada pelo REV-15 tenha um impacto tanto maior quanto mais elevada for a *VFL*. Esses efeitos vão gradualmente se sobrepondo ao efeito de segurança, fazendo com que o VPL cresça a taxas cada vez menores com o aumento da velocidade.

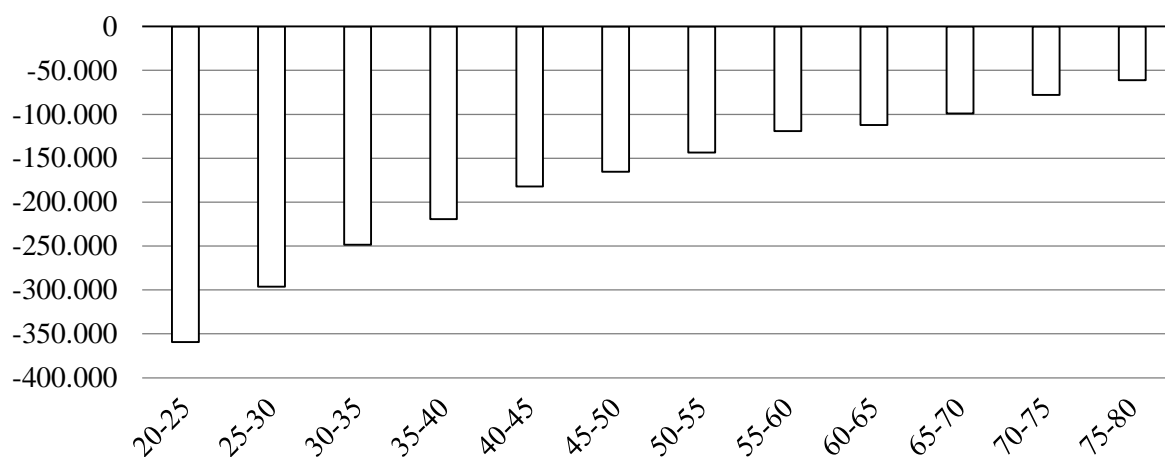


Figura 18 – VPL do REV-15 por grupo de VFL

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Valores em R\$ de janeiro de 2014. Vida útil do dispositivo de 5 anos. Taxa de desconto de 6% a.a.

Na análise por grupo de ACV, verifica-se que o VPL é positivo para níveis de acidentalidade acima de seis ACV, sendo tanto maior quanto maior for o número de ACV (Figura 19). O efeito de segurança torna-se tanto mais relevante quanto maior for o número de ACV.

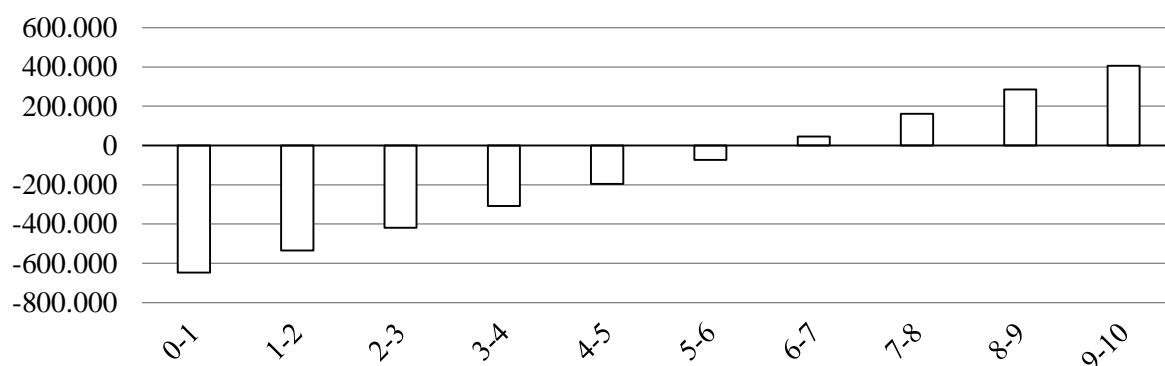


Figura 19 – VPL do REV-15 por grupo de ACV

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Valores em R\$ de janeiro de 2014. Vida útil do dispositivo de 5 anos. Taxa de desconto de 6% a.a.

A análise por grupos de TMDA indica um VPL que decresce com o aumento do TMDA, sendo positivo para níveis de volume de tráfego de até 1.800 veículos por dia (Figura 20). Apesar dos efeitos de mobilidade, ambiental e energético reduzirem mais o VPL quanto maior for o volume de tráfego, o efeito de segurança (positivo) supera em valor todos os demais efeitos (negativos) para níveis de TMDA de até 1.800 veículos.

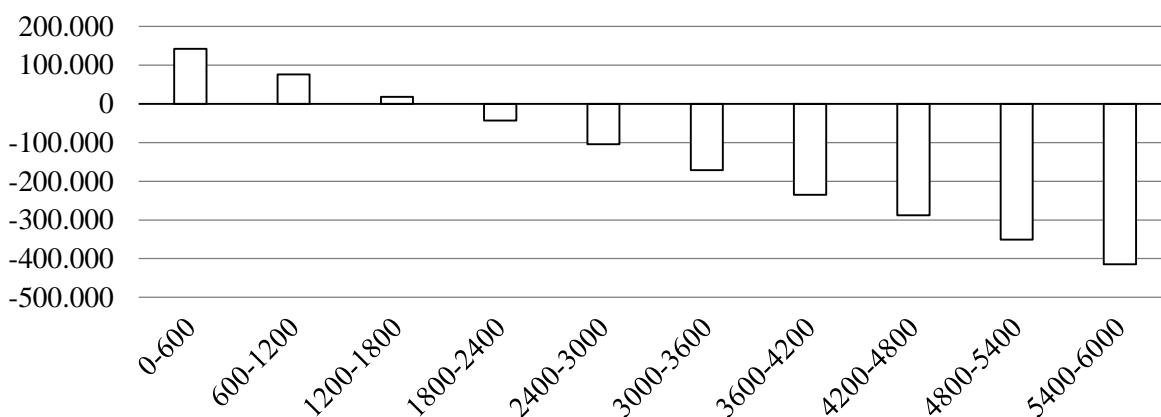


Figura 20 – VPL do REV-15 por grupo de TMDA

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Valores em R\$ de janeiro de 2014. Vida útil do dispositivo de 5 anos. Taxa de desconto de 6% a.a.

Em suma, a análise por grupos de *VFL*, *ACV* e *TMDA* indica que o REV-15 é tanto mais custo-eficiente quanto maior for a *VFL* da via, quanto maior for o número de *ACV* do trecho viário crítico e quanto menor for o *TMDA* da via.

A seguir é apresentada a terceira simulação, a qual busca auxiliar na definição mais precisa das condições necessárias para que o REV-15 seja custo-eficiente. Esta simulação consiste na avaliação de todas as combinações possíveis entre grupos de *ACV* e *TMDA*.

Do total de 60 grupos, o VPL mínimo é positivo em nenhum grupo e o VPL máximo é negativo em 29 grupos (48%). Em 23 grupos (38%) a média é positiva em 24 grupos (40%) a mediana é positiva. Nestes 24 grupos, há uma probabilidade acima de 50% de que a implementação de um REV-15 resulte em um VPL positivo.

A Tabela 42 indica, para cada grupo combinado de *ACV* e *TMDA*, a probabilidade de que a implementação de um REV-15 resulte em um VPL positivo. A análise desta tabela permite chegar às seguintes conclusões.

- O REV-15 é custo-eficiente desde que implementada em trecho crítico com acidentalidade de pelo menos oito *ACV* por ano – acidentalidade esta que, na média do país, equivale a 0,7 óbito e 11,6 pessoas feridas.
- O REV-15 não é custo-eficiente para vias com acidentalidade de até quatro *ACV* por ano – acidentalidade esta que, na média do país, equivale a 0,4 óbito e 5,8 pessoas feridas.
- Para trechos críticos com acidentalidade entre quatro e oito *ACV* por ano, a custo-eficiência do REV-15 depende do volume de tráfego. Em trechos viários com um *TMDA* entre 1.000 e 2.000 veículos o REV-15 é custo-eficiente desde que a acidentalidade seja de pelo menos cinco *ACV*. Para *TMDA* de 2.000 a 4.000 veículos, o REV-15 é custo-eficiente a partir de

seis ACV. No caso de trechos com *TMDA* entre 4.000 e 5.000 veículos, o dispositivo só se torna custo-eficiente se houver sete ACV ou mais. Por fim, a implementação de um REV-15 em trechos com *TMDA* acima de 5.000 veículos só é custo-eficiente caso haja uma acidentalidade de pelo menos oito ACV por ano.

Tabela 42 – Probabilidade percentual do REV-15 resultar em um VPL positivo, por grupo combinado de ACV e *TMDA*

| ACV | TMDA | | | | | |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0-1000 | 1000-2000 | 2000-3000 | 3000-4000 | 4000-5000 | 5000-6000 |
| 0-1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1-2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2-3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 3-4 | 23,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 4-5 | 84,5 | 36,9 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 5-6 | 94,4 | 85,4 | 47,7 | 1,1 | 0,0 | 0,0 |
| 6-7 | 97,1 | 94,2 | 85,5 | 55,8 | 3,7 | 0,0 |
| 7-8 | 98,4 | 97,4 | 94,4 | 87,0 | 62,1 | 9,5 |
| 8-9 | 98,7 | 98,3 | 97,0 | 94,3 | 87,0 | 66,4 |
| 9-10 | 99,1 | 98,8 | 98,3 | 96,8 | 94,5 | 87,7 |

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Valores acima de 50% estão em negrito.

O último passo da ACB do REV-15 é a análise de sensibilidade dos resultados aos parâmetros utilizados no modelo. Para efeito de comparação, foram incluídas também as variáveis *VFL*, *ACV* e *TMDA* nesta análise. Como medida de sensibilidade é usada a contribuição de cada parâmetro ou variável à variância do VPL. Os resultados desta análise mostram que o número de ACV é a variável que mais influencia o VPL do REV-10, respondendo por 58,4% da sua variância (vide Figura 21). Dentre os parâmetros, o mais relevante é o custo de manutenção do REV-15, que responde por 6,8% da variância, seguido da vida útil do REV-15 (5,7%), da proporção de lesões fatais por ACV (4,9%), do valor de lesão fatal (3,2%) e do valor de lesão não fatal (2,7%). Os demais parâmetros, em conjunto, não respondem por mais de 2,3% da variância do VPL. A *VFL* não explica mais 7,6% da variância do VPL do REV-15.

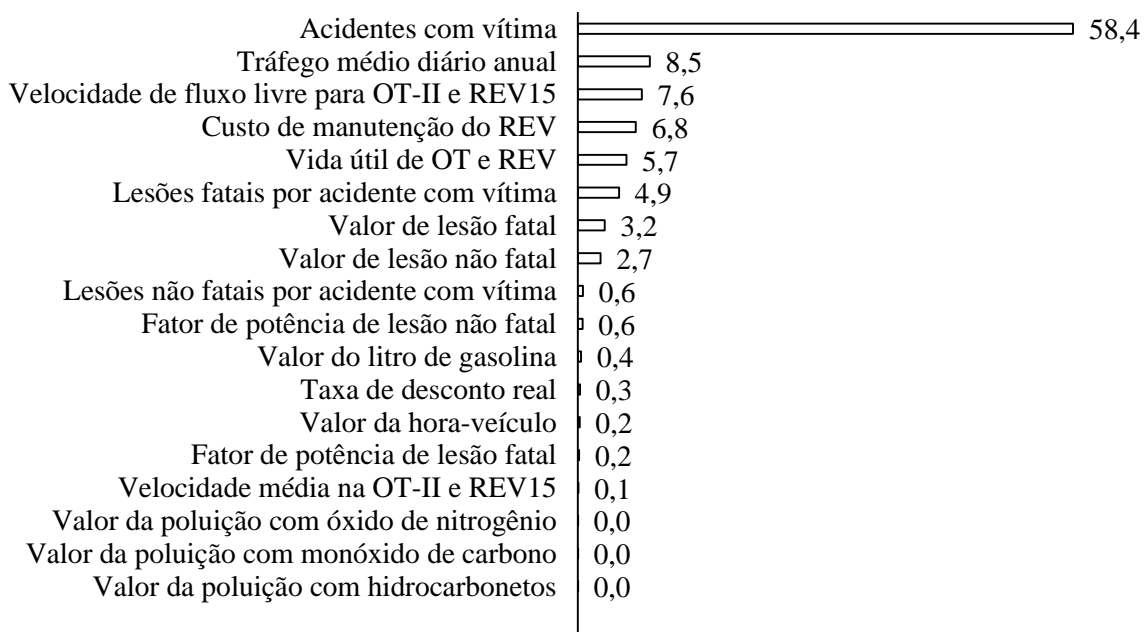


Figura 21 – Análise de sensibilidade do REV-15, de acordo com a contribuição dos parâmetros à variância do VPL

Fonte: Elaboração própria.

5.3 REV-40

Os resultados da ACB do REV-40 estão reportados na Tabela 43. Quanto ao efeito de segurança, esta tabela informa que, sob condições bastante gerais (vide seção 4.5.1), o REV-40 reduz o número de vítimas fatais em acidentes de trânsito em 35%, em média. O número de lesões não fatais, por sua vez, é reduzido em 18%, em média. A constatação de que ela reduz efetivamente o número de acidentes é, como para os demais dispositivos, uma decorrência da forma como foi modelado o efeito de segurança. Em termos absolutos, isto significa que, em média, são evitadas 0,2 lesão fatal e 1,3 lesão não fatal por ano. Em valor, o efeito de segurança se traduz em um benefício de cerca de R\$ 64 mil por ano.

Quanto ao efeito de mobilidade, a Tabela 43 informa que um REV-40 gera, em média, um atraso de 1,1 segundos por veículo, o qual, ao considerar o volume de tráfego afetado, se transforma em um custo de aproximadamente R\$ 9 mil por ano.

O efeito ambiental de um REV-40 é, em média, a emissão adicional de 407 kg de monóxido de carbono e de 169 kg de hidrocarbonetos por ano, bem como o aumento da emissão de óxido de nitrogênio em 152 kg. Considerando o volume de tráfego afetado, este efeito ambiental se traduz em um custo anual de aproximadamente R\$ 1 mil.

Tabela 43 – Efeitos simulados do REV-40

| Variável | Média | CV | Mín. | Máx. |
|--|---------|------|---------|---------|
| Fator redutor de lesões fatais | 0,35 | 0,3 | 0,01 | 0,52 |
| Fator redutor de lesões não fatais | 0,18 | 0,3 | 0,00 | 0,29 |
| Lesões fatais evitadas (pessoas/ano) | 0,2 | 0,5 | 0,0 | 0,4 |
| Lesões não fatais evitadas (pessoas/ano) | 1,3 | 0,6 | 0,0 | 4,0 |
| Valor das lesões fatais evitadas (R\$/ano) | 30.141 | 0,5 | 295 | 85.313 |
| Valor das lesões não fatais evitadas (R\$/ano) | 33.457 | 0,6 | 324 | 99.914 |
| Valor das lesões evitadas (R\$/ano) | 63.598 | 0,6 | 619 | 185.227 |
| Tempo de viagem perdido (s/veículo) | 1,1 | 0,3 | 0,0 | 1,7 |
| Valor do tempo de viagem perdido (R\$/ano) | -8.779 | -0,5 | -24.916 | -89 |
| Aumento da poluição com monóxido de carbono (kg/ano) | 407 | 1,0 | -1.345 | 1.370 |
| Aumento da poluição com hidrocarbonetos (kg/ano) | 169 | 0,5 | 2 | 458 |
| Aumento da poluição com óxido de nitrogênio (kg/ano) | 152 | 0,4 | 3 | 324 |
| Valor do aumento da poluição com monóxido de carbono (R\$/ano) | -203 | -1,0 | -685 | 672 |
| Valor do aumento da poluição com hidrocarbonetos (R\$/ano) | -503 | -0,5 | -1.364 | -5 |
| Valor do aumento da poluição com óxido de nitrogênio (R\$/ano) | -444 | -0,4 | -950 | -8 |
| Valor do aumento da poluição (R\$/ano) | -1.151 | -0,5 | -2.515 | -22 |
| Aumento do consumo de combustível (l/ano) | 6.202 | 0,6 | 55 | 19.573 |
| Valor do aumento do consumo de combustível (R\$/ano) | -12.094 | -0,6 | -38.166 | -108 |

Fonte: Elaboração própria.

Nota: CV quer dizer coeficiente de variação. Valores em R\$ de janeiro de 2014. Vida útil do dispositivo de 5 anos. Taxa de desconto de 6% a.a.

Por fim, ainda há o efeito energético, o qual é um gasto adicional de aproximadamente 6 mil litros de gasolina por ano. Considerando o volume de tráfego afetado, este efeito energético se traduz em um custo anual de aproximadamente R\$ 12 mil.

Em suma, um REV-40 gera um benefício anual em torno de R\$ 64 mil devido ao efeito de segurança, e custos anuais de aproximadamente R\$ 1 mil, R\$ 12 mil e R\$ 9 mil, devido aos efeitos ambiental, energético e de mobilidade, respectivamente. Ou seja, os valores anuais dos efeitos ambiental, energético e de mobilidade correspondem a cerca de 1,8%, 19,0% e 13,8%, respectivamente, do valor do efeito de segurança.

Considerando que um REV-40 tenha um custo de manutenção de R\$ 120 mil por ano e uma vida útil de 5 anos, e que a taxa de desconto real seja de 6% ao ano, o valor presente do

custo de implementação é de R\$ 401.893, o que torna o VPL médio de um REV-40 negativo em torno de R\$ -222 mil, correspondente a um CBC de 0,4 (vide Tabela 44).

Tabela 44 – ACB de um REV-40

| Variável | Média | CV | Mín. | Máx. |
|---|----------|------|----------|---------|
| Valor presente do efeito de segurança | 274.726 | 0,6 | 2.673 | 800.122 |
| Valor presente do efeito de mobilidade | -37.922 | -0,5 | -107.629 | -383 |
| Valor presente do efeito ambiental | -4.970 | -0,5 | -10.863 | -93 |
| Valor presente do efeito energético | -52.244 | -0,6 | -164.868 | -467 |
| Valor presente de todos os efeitos mensurados | 179.589 | 0,8 | -216.871 | 724.300 |
| Valor presente líquido | -222.304 | -0,6 | -618.764 | 322.408 |
| Coefficiente benefício-custo | 0,4 | 0,8 | -0,5 | 1,8 |

Fonte: Elaboração própria.

Nota: CV quer dizer coeficiente de variação. Valores em R\$ de janeiro de 2014. Vida útil dos dispositivos de 5 anos. Taxa de desconto de 6% a.a. Valor presente do custo de implementação de um REV de R\$ 401.893.

Esta primeira análise mostra que o REV-40 não é custo-eficiente em média, e que tanto o VPL quanto o CBC possuem um coeficiente de variação (CV) relativamente baixo (0,6 e 0,8, respectivamente). O VPL apresenta um valor mínimo de -618.764 e um valor máximo de 322.408, o que indica que a viabilidade do REV-40 depende em grande medida das condições de tráfego vigentes no local em que se pretende implementá-la. 92,4% da distribuição está concentrada em valores negativos, o que permite afirmar que o dispositivo REV-40 é custo-eficiente sob uma gama muito reduzida de condições de tráfego.

A seguir, será visto como o VPL se comporta à medida que varia, isoladamente, cada uma das três variáveis que descrevem as condições de tráfego da via.

Antes disso, contudo, convém observar que, dentre as variáveis *VFL*, *ACV* e *TMDA*, aquela que mais influencia o valor do VPL do REV-40 é o número de *ACV*. Esta variável é responsável por 75,2% da variância do VPL, enquanto a *VFL* e o *TMDA* respondem por 16,5% e 8,4% da variância, respectivamente.

A análise por grupo de *VFL* revela que o VPL é negativo para todas as *VFL* e cresce à medida que a *VFL* aumenta até atingir o limite de 80 km/h imposto pela modelagem (Figura 22). Tanto a emissão de poluentes – com exceção do óxido de nitrogênio – quanto o consumo de combustível e o tempo de percurso diminuem com o aumento da velocidade, fazendo com que a redução da velocidade provocada pelo REV-40 tenha um impacto tanto maior quanto mais elevada for a *VFL*. Esses efeitos vão gradualmente se sobrepondo ao efeito de segurança, fazendo com que o VPL cresça a taxas cada vez menores com o aumento da velocidade. No

caso de vias com *VFL* abaixo de 80 km/h, o efeito de segurança é reduzido demais para compensar os elevados custos de manutenção dos REV.

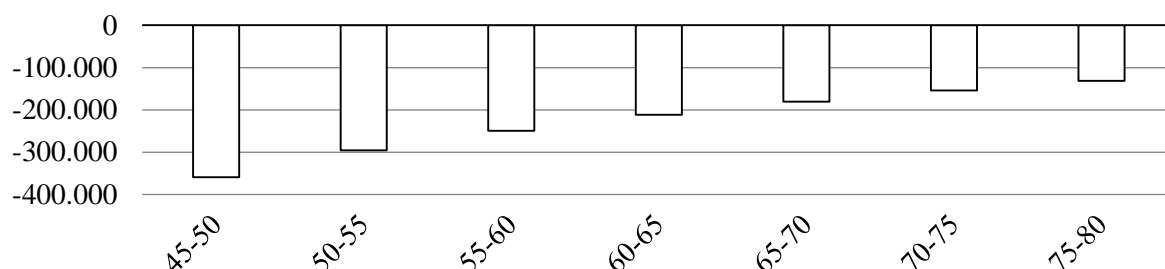


Figura 22 – VPL do REV-40 por grupo de *VFL*

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Valores em R\$ de janeiro de 2014. Vida útil do dispositivo de 5 anos. Taxa de desconto de 6% a.a.

Na análise por grupo de *ACV*, verifica-se que o VPL é positivo para níveis de acidentalidade superiores a oito *ACV* por ano, sendo tanto maior quanto maior for o número de *ACV* (Figura 23). É possível perceber na figura a decisiva influência que a acidentalidade exerce sobre a viabilidade de implementação do REV-40.

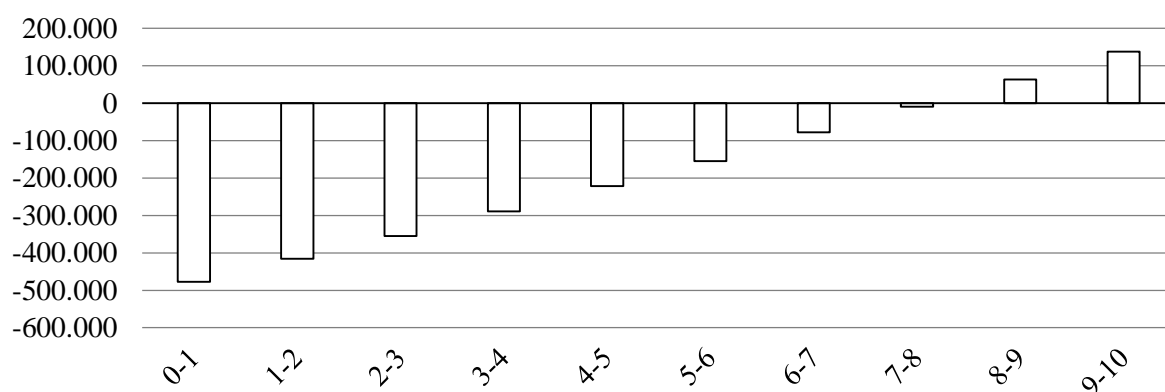


Figura 23 – VPL do REV-40 por grupo de *ACV*

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Valores em R\$ de janeiro de 2014. Vida útil do dispositivo de 5 anos. Taxa de desconto de 6% a.a.

A análise por grupos de *TMDA* indica um VPL que decresce com o aumento do *TMDA*, sendo negativo para todos os níveis de volume de tráfego (Figura 24). Os efeitos de mobilidade, ambiental e energético reduzem tanto mais o VPL quanto maior for o volume de tráfego, superando o efeito de segurança (positivo) para todos os níveis de *TMDA*.

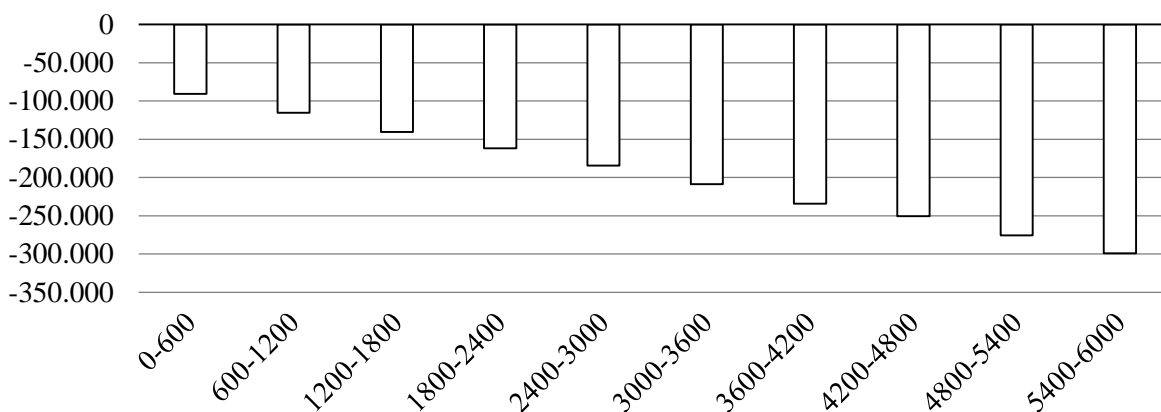


Figura 24 – VPL do REV-40 por grupo de TMDA

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Valores em R\$ de janeiro de 2014. Vida útil do dispositivo de 5 anos. Taxa de desconto de 6% a.a.

Em suma, a análise por grupos de *VFL*, *ACV* e *TMDA* indica que o REV-40 é tanto mais custo-eficiente quanto maior for a *VFL* da via, quanto maior for o número de *ACV* do trecho viário crítico e quanto menor for o *TMDA* da via. Esta análise ainda indica que o REV-40 é custo-eficiente desde que a acidentalidade seja superior a 8 *ACV* por ano.

A seguir é apresentada a terceira simulação, a qual busca auxiliar na definição mais precisa das condições necessárias para que o REV-40 seja custo-eficiente. Esta simulação consiste na avaliação de todas as combinações possíveis entre grupos de *ACV* e *TMDA*.

Do total de 60 grupos, o VPL mínimo é positivo em nenhum grupo e o VPL máximo é negativo em 35 grupos (58%). Em 13 grupos (22%) a média é positiva, e em 15 grupos (25%) a mediana é positiva. Nestes 15 grupos, há uma probabilidade acima de 50% de que a implementação de um REV-40 resulte em um VPL positivo.

A Tabela 45 indica, para cada grupo combinado de *ACV* e *TMDA*, a probabilidade de que a implementação de um REV-40 resulte em um VPL positivo. A análise desta tabela permite chegar às seguintes conclusões.

- O REV-40 é custo-eficiente desde que implementado em trecho crítico com acidentalidade de pelo menos 9 *ACV* por ano – acidentalidade esta que, na média do país, equivale a 0,8 óbito e 13,0 pessoas feridas.
- O REV-40 não é custo-eficiente em trechos viários com acidentalidade abaixo de 6 *ACV* – acidentalidade esta que, na média do país, equivale a 0,5 óbito e 8,7 pessoas feridas.
- Para trechos críticos com acidentalidade entre seis e nove *ACV* por ano, a custo-eficiência do REV-40 depende do volume de tráfego. Em trechos viários com um *TMDA* de até 1.000 veículos o REV-40 é custo-eficiente desde que a acidentalidade seja de pelo menos seis

ACV. Para *TMDA* de 1.000 a 3.000 veículos, o REV-40 é custo-eficiente a partir de sete *ACV*. No caso de trechos com *TMDA* entre 3.000 e 5.000 veículos, o dispositivo só se torna custo-eficiente se houver oito *ACV* ou mais. Por fim, a implementação de um REV-40 em trechos com *TMDA* acima de 5.000 veículos só é custo-eficiente caso haja uma acidentalidade de pelo menos novo *ACV* por ano.

Tabela 45 – Probabilidade percentual do REV-40 resultar em um VPL positivo, por grupo combinado de *ACV* e *TMDA*

| <i>ACV</i> | <i>TMDA</i> | | | | | |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0-1000 | 1000-2000 | 2000-3000 | 3000-4000 | 4000-5000 | 5000-6000 |
| 0-1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1-2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2-3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 3-4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 4-5 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 5-6 | 30,1 | 4,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 6-7 | 62,1 | 47,8 | 22,9 | 1,4 | 0,0 | 0,0 |
| 7-8 | 76,7 | 70,1 | 59,5 | 42,6 | 14,5 | 0,4 |
| 8-9 | 84,3 | 80,4 | 75,3 | 67,3 | 56,1 | 34,9 |
| 9-10 | 88,6 | 86,3 | 83,2 | 78,9 | 73,3 | 64,3 |

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Valores acima de 50% estão em negrito.

O último passo da ACB do REV-40 é a análise de sensibilidade dos resultados aos parâmetros utilizados no modelo. Para efeito de comparação, foram incluídas também as variáveis *VFL*, *ACV* e *TMDA* nesta análise. Como medida de sensibilidade é usada a contribuição de cada parâmetro ou variável à variância do VPL. Os resultados desta análise mostram que o número de *ACV* é a variável que mais influencia o VPL do REV-40, respondendo por 38,8% da sua variância (vide Figura 25). Dentre os parâmetros, o mais relevante é o custo de manutenção do REV, que responde por 19% da variância, seguido da vida útil do REV (18,9%), da proporção de lesões fatais por *ACV* (3,2%), do valor de lesão fatal (2,4%) e do valor de lesão não fatal (1,6%). Os demais parâmetros, em conjunto, não respondem por mais de 2,4% da variância do VPL. O *TMDA* não explica mais que 2,8% da variância do VPL do REV-40, enquanto que a *VFL* explica 11,1% da variância.

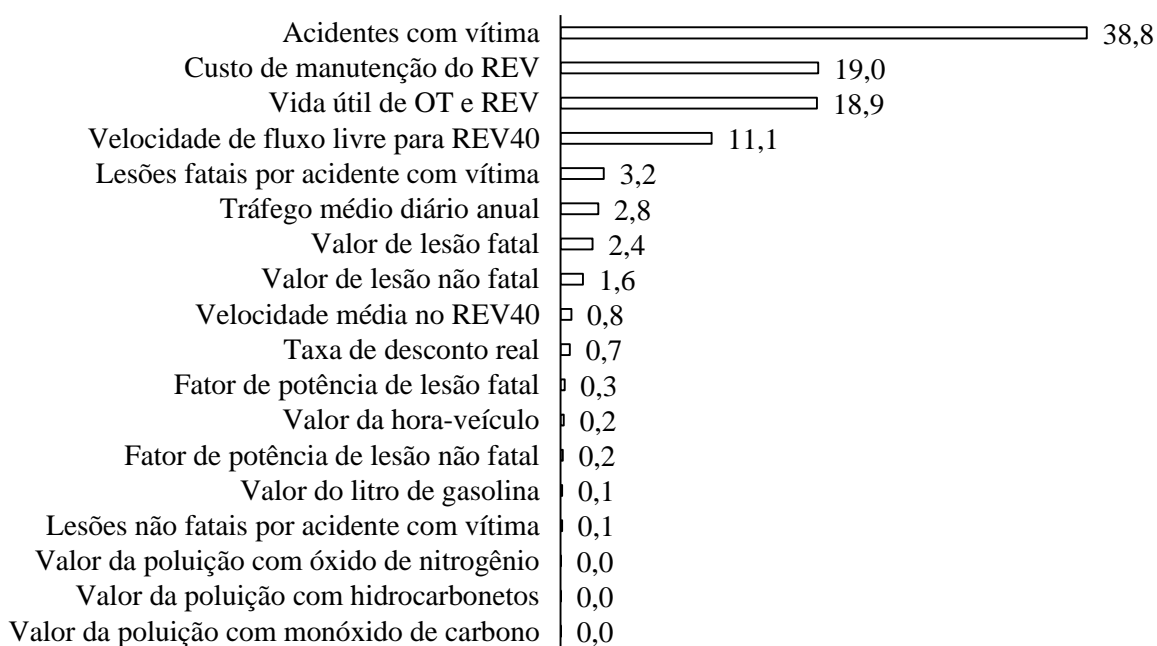


Figura 25 – Análise de sensibilidade do REV-40, de acordo com a contribuição dos parâmetros à variância do VPL

Fonte: Elaboração própria.

5.3.1 Outros REV

Como os REV podem ser usados para reduzir a velocidade a praticamente qualquer patamar, esta seção aborda qual seria o REV com o melhor custo-benefício. Para isso, calculou-se o VPL médio para REV que restrinjam a velocidade permitida a 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65 e 70 km/h.

De acordo com a Figura 26, em média, todos os REV resultaram em VPL negativos. O REV-20, o qual restringe a VND a 25 km/h, é o que se mostrou menos custo-ineficiente, com um VPL em torno de R\$ -120 mil. Por outro lado, mesmo o VPL do REV-70 – o mais ineficiente de todos, em média – não supera em valor absoluto o valor presente do custo de implementação de um REV, isto é, em torno de R\$ 400 mil. Significa dizer que, os REV só não são custo-eficientes em geral devido ao seu elevado custo de implementação.

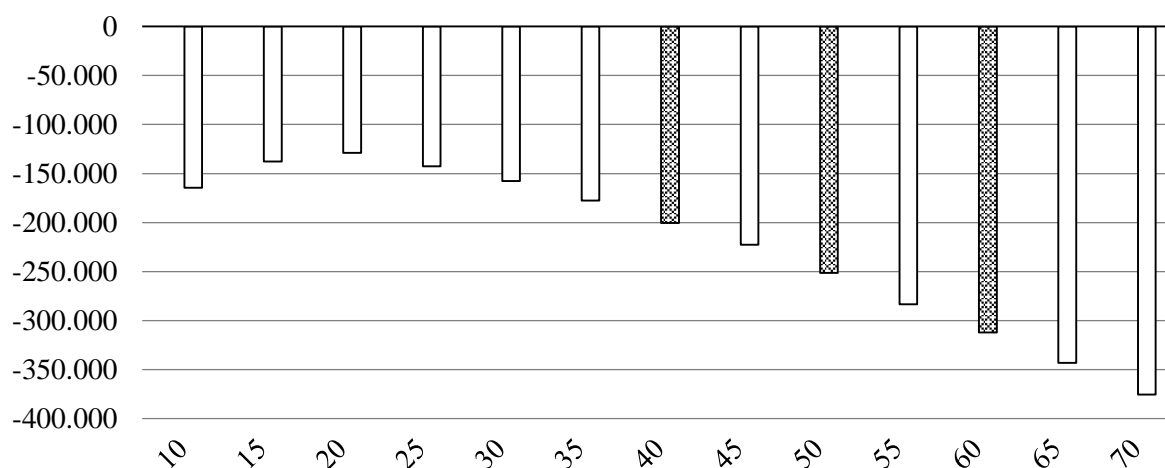


Figura 26 – VPL médio de diferentes REV, por velocidade regulamentada

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Barras destacadas indicam REV comumente utilizados.

Outro ponto a destacar é que os REV mais comumente utilizados (REV-40, REV-50 e REV-60) estão na faixa menos custo-eficiente do espectro possível de REV. De um modo geral, é possível dizer que REV com velocidade regulamentada de até 35 km/h são mais custo-eficientes do que os em uso atualmente. Além disso, como mostra a Tabela 46, REV com velocidade regulamentada acima de 50 km/h apresentam uma probabilidade praticamente nula de resultar em um VPL positivo. A mesma tabela ainda mostra outro fenômeno relevante: o coeficiente de variação é significativamente maior no caso de REV com velocidade regulamentada baixa do que no caso de REV com velocidade regulamentada alta, indicando que a custo-eficiência de REV que restrinjam fortemente a velocidade depende fortemente das condições de tráfego existentes no local de implementação do dispositivo. O VPL de um REV-20, por exemplo, pode variar de R\$ -1,1 milhão a R\$ +840 mil, a depender das condições de tráfego no local de instalação.

Tabela 46 – ACB de diferentes REV, por velocidade regulamentada

| REV | Média | DP | CV | Mín. | Mediana | Máx. | V+ |
|-----|----------|---------|------|------------|----------|----------|------|
| 10 | -161.687 | 315.952 | -2,0 | -1.089.990 | -164.666 | 839.324 | 30,5 |
| 15 | -127.820 | 281.607 | -2,2 | -942.129 | -137.676 | 811.512 | 32,1 |
| 20 | -120.595 | 252.552 | -2,1 | -835.001 | -128.977 | 726.644 | 31,8 |
| 25 | -130.019 | 224.705 | -1,7 | -738.535 | -142.704 | 623.759 | 27,9 |
| 30 | -145.228 | 202.241 | -1,4 | -708.049 | -157.708 | 507.916 | 24,1 |
| 35 | -163.607 | 179.303 | -1,1 | -671.784 | -177.526 | 451.161 | 18,9 |
| 40 | -186.197 | 155.761 | -0,8 | -617.898 | -200.499 | 331.573 | 12,9 |
| 45 | -210.185 | 136.662 | -0,7 | -592.971 | -222.712 | 282.395 | 7,9 |
| 50 | -240.257 | 114.443 | -0,5 | -544.780 | -251.343 | 197.192 | 2,4 |
| 55 | -273.910 | 91.725 | -0,3 | -497.923 | -283.222 | 61.797 | 0,2 |
| 60 | -303.995 | 70.007 | -0,2 | -481.692 | -311.928 | -53.141 | 0,0 |
| 65 | -338.138 | 47.626 | -0,1 | -452.486 | -343.262 | -162.143 | 0,0 |
| 70 | -372.861 | 24.464 | -0,1 | -433.409 | -375.410 | -281.016 | 0,0 |

Fonte: Elaboração própria.

Nota: REV é redutor eletrônico de velocidade; ACB é análise custo-benefício; DP é desvio padrão; CV é coeficiente de variação; mín. é o valor mínimo; max. é o valor máximo; V+ é a porcentagem de valores positivos. Valores em R\$ de janeiro de 2014. Vida útil dos dispositivos de 5 anos. Taxa de desconto de 6% a.a. Valor presente do custo de implementação de um REV de R\$ 401.893.

5.4 Comparação dos dispositivos

Nesta seção é apresentada uma comparação sumária dos efeitos de ambos os dispositivos redutores de velocidade abordados neste trabalho, em suas cinco versões: OT-I, REV-10, OT-II, REV-15, REV-40.

A Tabela 47 compara as medidas de segurança viária que foram abordados no presente estudo. Os valores presentes que constam na tabela são valores médios para os dispositivos para trechos viários com velocidades médias de até 80 km/h, volumes de tráfego de até 6.000 veículos por dia e acidentalidade de até 10 acidentes com vítima por ano.

Percebe-se que quanto mais restritiva a medida em termos de redução de velocidade, maior é o valor dos efeitos. No entanto, como os efeitos de mobilidade, ambiental e energético se opõe ao efeito de segurança, o VPL e o CBC da OT-II e do REV-15 são mais altos que os da OT-I e do REV-10, respectivamente. Enquanto as OT são custo-eficientes em média, os REV não o são. A diferença nos VPL entre as OT e os REV corresponde à diferença entre os valores presentes dos custos de implementação dos dispositivos.

Os valores presentes dos efeitos de mobilidade, ambiental e energético representam, conjuntamente, 65,4% do valor presente do efeito de segurança no caso da OT-I e do REV-10,

55,5% no caso da OT-II e do REV-15 e somente 34,6% no caso do REV-40. Dentre os efeitos considerados, todos parecem ser relevantes, exceto o efeito ambiental, cujo valor presente não ultrapassa 3,8% daquele do efeito de segurança. O valor presente do custo de implementação corresponde a 1,4–2,3% do valor presente do efeito de segurança no caso das OT e a 68,7–146,3% no caso dos REV.

Tabela 47 – ACB comparativa entre OT-I, REV-10, OT-II, REV-15 e REV-40

| Variável | OT-I | REV-10 | OT-II | REV-15 | REV-40 |
|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| VPES | 584.758 | | 523.259 | | 274.726 |
| VPEM | -195.307 | | -141.013 | | -37.922 |
| VPEA | -22.207 | | -16.223 | | -4.970 |
| VPEE | -164.804 | | -133.005 | | -52.244 |
| (VPEM+VPEA+VPEE)/VPES | -65,4 | | -55,5 | | -34,6 |
| VPCT | -8.009 | -401.893 | -12.014 | -401.893 | -401.893 |
| VPCT/VPES (%) | -1,4 | -68,7 | -2,3 | -76,8 | -146,3 |
| VPL | 194.431 | -199.363 | 221.003 | -166.881 | -222.304 |
| CBC | 25,3 | 0,5 | 19,4 | 0,6 | 0,4 |
| Probabilidade de $VPL > 0$ (%) | 72,3 | 26,2 | 77,5 | 26,9 | 7,6 |
| Viável se $VFL >$ | 15 | — | 20 | — | — |
| Viável se $ACV >$ | 3 | 6 | 3 | 6 | 8 |
| Viável se $TMDA <$ | 4.800 | 1.800 | 5.400 | 1.800 | — |
| Sensibilidade do VPL a ACV (%) | 68,4 | 68,0 | 73,8 | 74,4 | 75,2 |

Fonte: Elaboração própria.

Nota: VPES – valor presente do efeito de segurança; VPEM – valor presente do efeito de mobilidade; VPEA – valor presente do efeito ambiental; VPEE – valor presente do efeito energético; VPCT – valor presente do custo de implementação; VPL – valor presente líquido; CBC – coeficiente benefício-custo; VFL – velocidade de fluxo livre; ACV – acidentes com vítima; TMDA – tráfego médio diário anual. A sensibilidade do VPL ao número de ACV mostra a porcentagem da variância do VPL que é explicada pela variável ACV.

Para todos os dispositivos, o VPL é altamente sensível ao número de ACV. A elevada sensibilidade do VPL está relacionada ao forte efeito redutor de acidentes dos dispositivos e ao elevado valor dos acidentes evitados. A medida mais drástica, a OT-I ou o REV-10, reduz o número de vítimas fatais em acidentes de trânsito em 68%, em média, enquanto a medida mais branda, o REV-40, ainda reduz este número em 35%. Como o valor de cada fatalidade evitada é de cerca de R\$ 195 mil, a implementação de um dispositivo redutor de velocidade em um trecho viário em que ocorra um ACV por ano já gera, em média, um efeito de segurança que supera R\$ 100 mil por ano no caso das OT, do REV-10 e do REV-15, ou R\$ 50 mil no caso do REV-40.

A Tabela 48 mostra em quais condições de tráfego cada um dos dispositivos redutores de velocidade é custo-eficiente. A OT-II (representada pelo número 1 na tabela) é o dispositivo que é custo-eficiente sob a maior variedade de condições de tráfego, enquanto o REV-40 (representado pelo número 5 na tabela) é o dispositivo que é custo-eficiente sob a menor variedade de condições de tráfego. A OT-II é custo-eficiente em 73,3% dos 60 grupos combinados de ACV e TMDA, enquanto o REV-40 é custo-eficiente somente em 25% das condições de tráfego avaliadas.

Tabela 48 – Grupos combinados de ACV e TMDA nos quais há uma probabilidade acima de 50% de que OT e REV resultem em um VPL positivo

| ACV | TMDA | | | | | |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 0-1000 | 1000-2000 | 2000-3000 | 3000-4000 | 4000-5000 | 5000-6000 |
| 0-1 | | | | | | |
| 1-2 | 1;2 | 1 | | | | |
| 2-3 | 1;2 | 1;2 | 1 | | | |
| 3-4 | 1;2 | 1;2 | 1;2 | 1 | | |
| 4-5 | 1;2;3;4 | 1;2 | 1;2 | 1;2 | 1 | |
| 5-6 | 1;2;3;4 | 1;2;3;4 | 1;2 | 1;2 | 1;2 | 1 |
| 6-7 | 1;2;3;4;5 | 1;2;3;4 | 1;2;3;4 | 1;2;3 | 1;2 | 1;2 |
| 7-8 | 1;2;3;4;5 | 1;2;3;4;5 | 1;2;3;4;5 | 1;2;3;4 | 1;2;3 | 1;2 |
| 8-9 | 1;2;3;4;5 | 1;2;3;4;5 | 1;2;3;4;5 | 1;2;3;4;5 | 1;2;3;4;5 | 1;2;3 |
| 9-10 | 1;2;3;4;5 | 1;2;3;4;5 | 1;2;3;4;5 | 1;2;3;4;5 | 1;2;3;4;5 | 1;2;3;4;5 |

Fonte: Elaboração própria.

Nota: 1 está para OT-II; 2 para OT-I; 3 para REV-15; 4 para REV-10; 5 para REV-40.

5.5 Impactos não quantificados

Conforme exposto na seção 4.8, os principais impactos não quantificados das OT são (1) a penalização indiscriminada de todos os motoristas, estejam estes infringindo a lei ou não, (2) a penalização de pessoas com necessidades especiais, (3) o aumento do tempo de resposta de veículos de emergência e (4) o risco a que ficam expostos os usuários da via no caso da implantação inadequada de OT e no caso de condições adversas de tempo. Todos estes efeitos adversos são evitados pelo uso de REV.

Os REV praticamente não possuem impactos adversos no âmbito da fiscalização de trânsito, mas possuem o benefício de permitirem a contagem do volume de tráfego, o que pode contribuir para um melhor gerenciamento do fluxo de tráfego.

Qual é o valor dos impactos não quantificados das OT? Ainda que seja difícil especular sobre o valor destes impactos, é provável que seja significativo, tendo em vista que os impactos não quantificados (2) e (3) das OT estão relacionados à saúde e à vida das pessoas, e que o efeito de saúde das OT é o mais relevante dos que foram mensurados. Significa dizer que pelo menos parte da redução de acidentes proporcionada pelas OT é compensada pelos impactos não quantificados. As OT não apenas causam acidentes, mas também reduzem a probabilidade de sobrevivência de pessoas em situação de risco que necessitam de atendimento emergencial. Consequentemente, é provável que o efeito de segurança tenha magnitude menor do que nos cenários apresentados no presente trabalho.

É possível, inclusive, que o efeito do atraso de veículos de emergência supere em valor o efeito da redução de acidentes. Bunte (2000), por exemplo, usou o modelo de análise de risco desenvolvido por Bowman (1997) para estimar o efeito de três dispositivos redutores de velocidade sobre o número de vítimas de parada cardíaca súbita na cidade de Austin, Texas, EUA, e chegou à conclusão de que os dispositivos resultariam na redução de 18 vidas salvas pelo serviço de emergência da cidade. Como o efeito depende da localização de cada dispositivo e como a relação entre o tempo de resposta dos veículos de emergência e vidas salvas é não linear, não é possível concluir que cada um destes dispositivos redutores de velocidade tenha resultado em seis vidas perdidas. Contudo, o estudo de Bunte mostra que o efeito agregado do uso de dispositivos de redução de velocidade pode provocar graves riscos às vítimas de ataques cardíacos, os quais podem inclusive superar o efeito de redução do número de acidentes causado pela redução da velocidade. Vale ressaltar que o mesmo não se aplica aos REV, já que os mesmos não restringem a velocidade dos veículos de emergência.

6 CONCLUSÕES

O impacto econômico e social dos acidentes de trânsito no Brasil e no mundo é inegável, e existe a expectativa de que esse impacto aumente ainda mais no médio prazo, o que torna imprescindível todo tipo de medida que auxilie na redução do número de acidentes de trânsito e do número de vítimas decorrentes desses acidentes, bem como da gravidade das lesões sofridas pelos acidentados.

As medidas de controle de velocidade estão entre aquelas que possuem eficácia comprovada na redução do número e da gravidade dos acidentes de trânsito. O controle de velocidade é usado de forma abrangente na maioria dos países para reduzir o impacto dos acidentes de trânsito. No Brasil, são usadas amplamente algumas medidas de controle de velocidade, em especial, radares, fixos ou móveis, redutores eletrônicos de velocidade (REV) e ondulações transversais (OT).

A efetividade das medidas de controle de velocidade em reduzir o número e a gravidade dos acidentes de trânsito está amplamente documentado e foi testado em uma grande variedade de países. O mesmo não ocorre com a viabilidade econômica dessas medidas de controle de velocidade, que, apesar de já ter sido verificada na Grécia, em Israel e no Reino Unido, ainda não pode ser considerada definitivamente comprovada. A falta de estudos sobre o impacto econômico dessas medidas também se verifica no Brasil, para qual o não foi encontrado nenhuma análise custo-benefício (ACB) de OT ou REV, por exemplo.

Tendo em vista a especificidade regional das ACB, o objetivo geral deste estudo foi realizar uma avaliação econômica das intervenções de segurança viária OT e REV no Brasil. Em vez de efetuar uma ACB convencional, apoiando-se em estudos de caso, buscou-se desenvolver um método genérico para avaliar o custo-benefício destas intervenções de segurança viária em trechos viários críticos que fosse válido e aplicável para um conjunto de condições de tráfego. O método escolhido foi um conjunto de equações que relacionam quatro dos principais efeitos das OT e dos REV – efeito de segurança, efeito de mobilidade, efeito ambiental, efeito energético – a três variáveis que definem as condições de tráfego do trecho crítico: velocidade de fluxo livre (VFL), volume de tráfego (TMDA) e quantidade de acidentes com vítima (ACV).

A partir deste modelo, foi possível avaliar sob quais condições de velocidade de fluxo livre, volume de tráfego e quantidade de acidentes cada medida de controle de velocidade considerada no estudo seria custo-eficiente. As medidas de controle de velocidade consideradas

foram ondulação transversal de tipo I (OT-I), que reduz a velocidade a um máximo de 15 km/h, OT de tipo II (OT-II), que reduz a velocidade a um máximo de 20 km/h, redutor eletrônico de velocidade de 10 km/h (REV-10), que reduz a velocidade a um máximo de 15 km/h, redutor eletrônico de velocidade de 15 km/h (REV-15), que reduz a velocidade a um máximo de 20 km/h, e redutor eletrônico de velocidade de 40 km/h (REV-40), que reduz a velocidade a um máximo de 45 km/h.

Os resultados indicam que todas as medidas de controle de velocidade consideradas no estudo são custo-eficientes sob uma grande variedade de condições de tráfego. As OT resultam em valores presentes líquidos (VPL) e coeficientes benefício-custo (CBC) superiores que os REV e são, em geral, custo-eficientes. Os REV, por outro lado, são custo-eficientes apenas sob uma gama reduzida de condições de tráfego. A ACB indica que o REV-40, que possui o menor VPL dentre as alternativas consideradas, possui uma probabilidade de somente 7,6% de ser custo-eficiente, e um CBC médio de 0,4. Este resultado se deve principalmente ao elevado custo de implementação dos REV, cujo valor presente chega a R\$ 400 mil.

A análise mais detalhada da viabilidade de cada intervenção sob diferentes condições de tráfego revela que as OT são custo-eficientes desde que a VFL da via seja superior à velocidade de desenho de cada tipo de OT, isto é, a 15 km/h no caso da OT-I e a 20 km/h no caso da OT-II. Já os REV mostram-se viáveis desde que a acidentalidade no trecho viário seja superior a 6 ACV ou que o TMDA seja inferior a 1.800 veículos.

Todos os resultados se mostraram bastante sensíveis ao número de ACV, que explica entre 68,4% e 75,2% da variabilidade do VPL das medidas analisadas. Isto se deve ao forte impacto que estas medidas possuem sobre a redução da acidentalidade e ao elevado valor atribuído à vida e à saúde humanas. Por outro lado, a VFL não explica mais que 6% dessa variabilidade do VPL no caso das OT e dos REV de 10 e de 15 km/h; no caso do REV-40, a VFL explica 16,5% da variabilidade do VPL. O TMDA é responsável pelo restante da variabilidade: entre 8,4% no caso do REV-40 e 27,8% no caso do REV-10.

Dado que a maioria dos parâmetros utilizados na análise são valores incertos e sujeitos à discussão e a alterações ao longo do tempo, foi verificado, por meio de uma análise de sensibilidade, como alterações nos parâmetros influenciam os resultados obtidos. Esta análise desconsidera as variáveis que definem as condições de tráfego e mostra que os parâmetros que mais afetam os resultados são a vida útil da medida, a proporção de lesões fatais por ACV, o valor de lesão fatal, o valor de lesão não fatal e o custo de manutenção dos REV. Considerando tanto variáveis quanto parâmetros, o número de ACV explica entre 38,8% (no caso do REV-40)

e 65,9% (no caso OT-II) da variabilidade do VPL das intervenções analisadas, enquanto o custo de manutenção explica entre 0% (OT) e 19% (REV-40) dessa variabilidade.

Além da avaliação individual de cada intervenção de segurança viária, foi efetuada uma análise complementar para avaliar sob quais condições a substituição de uma OT-I por um REV-10, ou a substituição de uma OT-II por um REV-15, seria custo-eficiente. O objetivo desta análise não foi verificar as condições de viabilidade propriamente ditas, pois o modelo utilizado – baseado nos efeitos da redução de velocidade – e o custo de implementação superior dos REV em relação às OT implicam a inviabilidade dessa substituição sob a maioria das condições de tráfego. Em vez disso, essa análise buscou levar em consideração de alguma forma alguns impactos importantes das OT que não puderam ser quantificados.

Os principais impactos não quantificados das OT são a penalização indiscriminada de todos os motoristas, estejam estes infringido a lei ou não, a penalização de pessoas com necessidades especiais, o aumento do tempo de resposta de veículos de emergência e o risco a que ficam expostos os usuários da via no caso da implantação inadequada de OT e no caso de condições adversas de tempo. Todos estes efeitos adversos são evitados pelo uso de REV.

A análise da substituição de OT por REV mostra que esta substituição é viável caso os impactos não quantificados das OT possam ser valorados em mais de R\$ 400 mil e tanto mais viável quanto maior for a accidentalidade e quanto menor for o volume de tráfego. Observe-se, contudo, que, dada a severidade dos impactos não quantificados das OT – especialmente porque grande quantidade de OT no país encontram-se irregulares – é razoável supor que esses impactos possam alcançar valores que tornem a substituição de uma OT por um REV viável sob determinadas condições de tráfego. Ou, dito de outra forma, a implementação de OT pode não ser custo-eficiente sob muitas condições de tráfego caso sejam levados em conta os efeitos adversos das OT que não foram quantificados neste estudo, em especial a redução no tempo de resposta dos veículos de emergência. Por isso, recomenda-se que esses efeitos sejam considerados na determinação da política de segurança viária e, especialmente, na implementação de OT ou REV.

Apesar de o presente trabalho ter mostrado que os REV não são, em geral, custo-eficientes devido ao seu elevado custo de implementação, a conjugação deste resultado com a evidência de que os REV evitam muitos dos efeitos colaterais indesejáveis das OT resulta em outra recomendação de política pública, que é a promoção da redução do custo de implementação dos REV. Não é objeto deste trabalho buscar a melhor forma de alcançar isto, contudo, a título de exemplo, poder-se-ia pensar em promover a concorrência no setor, reduzir a incidência de

tributos sobre peças de elevado custo do produto e incentivar a pesquisa de métodos mais baratos de produção.

Ademais, considerando as limitações do presente trabalho, recomenda-se a realização de estudos adicionais, envolvendo a ACB de outros dispositivos de controle de velocidade (tais como radares fixos ou móveis e deflexões horizontais), a mensuração de outros impactos (tais como o atraso de veículos de emergência), a aplicação da análise para outros tipos de vias (tais como rodovias e vias locais) e para outros veículos (tais como motos, caminhões e ônibus), o uso de outros métodos de mensuração dos impactos e a extensão da ACB para uma análise de impacto regulatório (RIA).

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, P. G.; LAYFIELD, R. E. The change in traffic noise levels following the installation of speed control cushions and road humps. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON NOISE CONTROL ENGINEERING, 4., 30 Jul. - 2 Aug., Liverpool. **Noise control – the next 25 years**. St. Albans: Institute of Acoustics, 1996. p. 1957–1962.
- AHNA, K.; RAKHAB, H. A field evaluation case study of the environmental and energy impacts of traffic calming. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, Philadelphia PA, v. 14, n. 6, p. 411–424, 2009.
- ALENCAR, C. M. S. de; FREITAS, A. C. B. F. O comportamento do condutor quanto à velocidade veicular em segmentos adjacentes as lombadas eletrônicas em vias arteriais: o caso de Fortaleza. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 18., 2004, Florianópolis. **Anais...** Rio de Janeiro: Anpet, 2004. p. 86–93.
- ALMEIDA, M. N. de. Metodologias para monetarizar a poluição do ar provocada pelo transporte. In: RIO DE TRANSPORTES, 9., 2011, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: BNDES, 2011. 15 p.
- ALVARENGA, E. Controle de velocidade reduz número de mortes nas rodovias. **DNIT**, Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/noticias/control-de-velocidade-reduz-numero-de-mortes-nas-rodovias>>. Acesso em: 14 jan. 2012.
- AMÂNCIO, D. Vc repórter: sem sinalização, lombada causa risco em estrada de SP. **Terra**, São Paulo, 13 maio 2013. Disponível em: <<http://noticias.terra.com.br/brasil/transito/vc-reporter-sem-sinalizacao-lombada-causa-risco-em-estrada-de-sp,52225a4f3ff9e310VgnVCM20000099cceb0aRCRD.html>>. Acesso em: 24 maio 2013.
- ANDERSSON, G. **Automatisk hastighetsövervakning: resultat från försöksverksamheten**. Linköping: Swedish Road and Transport Research Institute, 2003.
- ASLAN, S.; KARCIOGLU, O.; KATIRCI, Y.; KANDIS, H.; EZIRMIK, N.; BILIR, O. Speed bump-induced spinal column injury. **The American Journal of Emergency Medicine**, Philadelphia PA, v. 23, n. 4, p. 563–564, 2005.
- BARBOSA, H. M. Almofadas: uma alternativa ao amplo uso de ondulações transversais. **Revista dos Transportes Públicos**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 49–64, 2006.
- BARBOSA, H. M.; MOURA, M. V. de. Ondulações transversais para controle da velocidade veicular. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 22., 2008, Fortaleza. **Anais...** Rio de Janeiro: Anpet, 2008. 11 p.
- BARBOSA, H. M.; TIGHT, M. R.; MAY, A. D. A model of speed profiles for traffic calmed roads. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, Philadelphia PA, v. 34, n. 2, p. 103–123, 2000.
- BAŞLAMIŞLI, S. C.; ÜNLÜSOY, Y. S. Optimization of speed control hump profiles. **Journal of Transportation Engineering**, Reston VA, v. 135, n. 5, p. 260–269, 2009.

BUNDESANSTALT FÜR STRAßENWESEN. **Screening of efficiency assessment experiences:** report “state of the art”. Bergisch Gladbach, 2003. 219 p.

BASTOS, J. T. **Geografia da mortalidade no trânsito no Brasil.** 2011. 150 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Operações de Sistema de Transportes)–Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

BISHAI, D. M.; HYDER, A. A. Modeling the cost effectiveness of injury interventions in lower and middle income countries: opportunities and challenges. **Cost Effectiveness and Resource Allocation**, London, v. 4, n. 2, p. 1–11, 2006.

BJARNASON, S. **Round top and flat top humps:** the influence of design on the effects. 2004. 144 p. Thesis (Traffic Engineering)–Department of Technology and Society, Lund Institute of Technology, Lund, 2004.

BOCANEGRA, C. W. R. **Procedimentos para implantação e avaliação do desempenho de lombadas eletrônicas em áreas urbanas.** 2006. 149 p. Tese (Doutorado em Engenharia)–Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

BORBA, B. S. M. C. **Metodologia de regionalização do mercado de combustíveis automotivos no Brasil.** 2008. 136 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético)–Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

BORSE, N. N.; HYDER, A. A. Call for more research on injury from the developing world: results of a bibliometric analysis. **Indian Journal of Medical Research**, New Delhi, v. 129, n. 3, p. 321–326, 2009.

BOULTER, P. G. **Traffic calming – effect on vehicle emissions modelled from measured speed profiles.** Crowthorne, Berkshire: Transport Research Laboratory, 1996.

BOULTER, P. G. **The impacts of traffic calming measures on vehicle exhaust emissions.** 2000. 277 p. Thesis (PhD)–Middlesex University, London, 2001.

BOWMAN, R. R. Deaths expected from delayed emergency response due to neighborhood traffic mitigation. Boulder, Colorado, 2 apr. 1997. Disponível em: <<http://www.calmingrisk.com/Bowman1997studyBoulderCO.pdf>>. Acesso em: 4 maio 2014.

BRANDÃO, L. M. **Medidores eletrônicos de velocidade:** uma visão da engenharia para implantação. 2 ed. Curitiba: Perkons, 2011. 133 p.

BRENT, R. J. (Ed.). **Cost-benefit analysis and health care evaluations.** Cheltenham UK: Edward Elgar, 2003. 373 p.

BRITO, A. N. **Aplicação de um procedimento usando preferência declarada para a estimativa do valor do tempo de viagem de motoristas em uma escolha entre rotas rodoviárias pedagiadas e não pedagiadas.** 2007. 185 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes)–Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

BUNTE, L. W., Jr. **Traffic calming programs and emergency response: a competition of two public goods**. 2000. 259 p. Dissertation (Master of Public Affairs)—Faculty of the Graduate School, University of Texas at Austin, Austin TX, 2000.

CAETANO, C. Empresa de ônibus terá que pagar tratamento para mulher que se acidentou em coletivo. **O Tempo**, Contagem, MG, 23 maio 2013. Disponível em: <<http://www.otempo.com.br/cidades/empresa-de-%C3%B4nibus-ter%C3%A1-que-pagar-tratamento-para-mulher-que-se-acidentou-em-coletivo-1.651429>>. Acesso em: 24 maio 2013.

CANNELL, A. E. R.; GOLD, P. A. **Reduzindo acidentes: o papel da fiscalização de trânsito e do treinamento de motoristas**. Washington DC: BID, 2001. 86 p.

CARDOSO, G.; MOSCARELLI, F. Definição da variabilidade temporal do fluxo de tráfego veicular utilizando dados obtidos de controladores eletrônicos de velocidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE TRANSPORTE E TRÂNSITO, 15., 2005, Goiânia. **Anais...** São Paulo: ANTP, 2005. p. 1–9.

CHEN, G.; WARBURTON, R. N. Do speed cameras produce net benefits? evidence from British Columbia, Canada. **Journal of Policy Analysis and Management**, Hoboken NJ, v. 25, n. 3, p. 661–678, 2006.

CHEQUER, C. J.; MELLO, E. P. de. **Equipamentos redutores de velocidade e seu efeito sobre os acidentes nas rodovias federais**. Brasília: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2010. 27 p.

COMMONWEALTH OF AUSTRALIA. **Handbook of Cost-Benefit Analysis**, 2006. 164 p.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Resolução 396, de 13 de dezembro de 2011**: Dispõe sobre requisitos técnicos mínimos para a fiscalização da velocidade de veículos automotores, reboques e semirreboques, conforme o Código de Trânsito Brasileiro. 2011.

CUNTO, F. J. C.; CASTO, M. M. de; BARREIRA, D. S. Modelos de previsão de acidentes de trânsito em interseções semaforizadas de Fortaleza. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 25., 2011, Belo Horizonte. **Anais...** Rio de Janeiro: Anpet, 2011. 12 p.

CUPOLILLO, M. T. A. **Estudo das medidas moderadoras do tráfego para controle da velocidade e dos conflitos em travessias urbanas**. 2006. 277 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes)—Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

D'AGOSTINO, R. SC tem trecho mais crítico de acidentes entre rodovias federais. **G1**, São Paulo, 13 abr. 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/brasil/noticia/2013/04/sc-tem-trecho-mais-critico-de-acidentes-entre-rodovias-federais.html>>. Acesso em: 14 maio 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. Informações para integração do Município ao SNT. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/municipios/orgaosmunicipais.asp#c>>. Acesso em: 7 fev. 2015.

_____. **Código de trânsito brasileiro: e legislação complementar em vigor**. Brasília, 2008. 708 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Custos de acidentes de trânsito nas rodovias federais**: sumário executivo. Brasília, 2004. 33 p.

_____. **Diretrizes básicas para estudos e projetos rodoviários**: escopos básicos / instruções de serviço. Rio de Janeiro, 2006. 484 p.

_____. **Avaliação das condições de segurança viária do trecho entre Belo Horizonte e Governador Valadares – BR-381/MG**. Brasília, 2010. 97 p.

_____. Programa nacional de controle eletrônico de velocidade. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/control-de-velocidade>>. Acesso em: 14 jan. 2012.

ELIASSON, J.; LUNDBERG, M. **Do cost-benefit analyses influence transport investment decisions?** Experiences from the Swedish Transport Investment Plan 2010-2021. Henley-in-Arden: Association for European Transport, 2010. 25 p.

ELVIK, R. Which are the relevant costs and benefits of road safety measures designed for pedestrians and cyclists? **Accident Analysis and Prevention**, Philadelphia PA, v. 32, n. 1, p. 37–45, 2000.

_____. **Cost-benefit analysis of measures for vulnerable road users**. Berkshire UK: Transport Research Laboratory, 2001a. 116 p.

_____. **Cost-benefit analysis of police enforcement**. Espoo: Technical Research Centre of Finland, 2001b. 78 p.

_____. Cost-benefit analysis of road safety measures: applicability and controversies. **Accident Analysis and Prevention**, Philadelphia PA, v. 33, n. 1, p. 9–17, 2001c.

_____. How would setting policy priorities according to cost-benefit analyses affect the provision of road safety. **Accident Analysis and Prevention**, Philadelphia PA, v. 35, n. 4, p. 557–570, 2003.

_____. **Prospects for improving road safety in Norway**. Oslo: Institute of Transport Economics, 2007. 88 p.

_____. The predictive validity of empirical Bayes estimates of road safety. **Accident Analysis and Prevention**, Philadelphia PA, v. 40, n. 6, p. 1964–1969, 2008.

_____. **The power model of the relationship between speed and road safety**: update and new analysis. Oslo: Institute of Transport Economics, 2009. 64 p.

ELVIK, R.; AMUNDSEN, A. H. **Improving road safety in Sweden**: an analysis of the potential for improving safety, the cost-effectiveness and cost-benefit ratios of road safety measures. Oslo: Institute of Transport Economics, 2000. 201 p.

ELVIK, R.; CHRISTENSEN, P.; AMUNDSEN, A. H. **Speed and road accidents**: an evaluation of the power model. Oslo: Institute of Transport Economics, 2004. 134 p.

ELVIK, R.; HØYE, A.; VAA, T.; SØRENSEN, M. **The handbook of road safety measures**. 2 ed. Bingley: Emerald, 2009. 1124 p.

ELVIK, R.; VEISTEN, K. **Barriers to the use of efficiency assessment tools in road safety policy**. Oslo: Institute of Transport Economics, 2005. 102 p.

EUROPEAN ROAD SAFETY OBSERVATORY. Cost-benefit analysis. 2006. Disponível em:

<http://ec.europa.eu/transport/wcm/road_safety/erso/safetynet/content/wp_6_european_road_safety_information_system.htm>. Acesso em: 28 maio 2013.

FEDERAÇÃO NACIONAL DO COMÉRCIO DE COMBUSTÍVEIS E DE LUBRIFICANTES. **Relatório anual da revenda de combustíveis 2012**. Rio de Janeiro, 2012. 100 p.

FERRAZ, A. C. P.; RAIÁ, A. A.; BEZERRA, B. S.; BASTOS, J. T.; SILVA, K. C. R. **Segurança viária**. São Carlos: Suprema Gráfica e Editora, 2012. 322 p.

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN. **Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen Teil 2: Maßnahmen gegen Unfallhäufungen**. Köln, 2001.

FISCALIZAÇÃO eletrônica é trocada por lombada. **Jornal do Commercio**, Recife, 15 fev. 2008. Disponível em: <<http://jconlinedigital.ne10.uol.com.br/web/>>. Acesso em: 13 maio 2013.

FRANZON, D. Cidade tem 8,3 mil lombadas irregulares. **Metro São Paulo**, São Paulo, v. 5, n. 1198, p. 2, 9 dez. 2011.

FUCCIA, E. V. Garoto morre baleado e outro fica gravemente ferido em Praia Grande.

A Tribuna, Santos, SP, 19 maio 2013. Disponível em:

<<http://www.tribuna.com.br/noticias.asp?idnoticia=191080&idDepartamento=11&idCategoria=0>>. Acesso em: 24 maio 2013.

GITELMAN, V.; HAKKERT, A. S. Economic evaluation of road safety measures: the framework, testing and future needs. In: EUROPEAN TRANSPORT CONFERENCE, 2006, Strasbourg. **Proceedings...** London: Association for European Transport, 2006. 15 p.

GITELMAN, V.; HAKKERT, A. S.; DOVEH, E.; COHEN, A. A study of safety effects of road infrastructure improvements under Israeli conditions. In: INTERNATIONAL CONFERENCE TRAFFIC SAFETY ON THREE CONTINENTS, 2001, Moscow. **Proceedings...** Moscow: PTRC Education and Research Services Limited, 2001. 11 p.

GRIZOTTI, G. Máfia das multas e lombadas eletrônicas fatura R\$ 2 bi por ano. Disponível em: <<http://fantastico.globo.com/Jornalismo/FANT/0,,MUL1653283-15605,00.html>>. Acesso em: 7 fev. 2013.

GLOBAL ROAD SAFETY PARTNERSHIP. **Speed management: a road safety manual for decision-makers and practitioners**. Geneva, 2008. 164 p.

HANSEN, J. Q.; WINTHER, M.; SORENSON, S. C. The influence of driving patterns on petrol passenger cars. **Science of the Total Environment**, Philadelphia PA, n. 169, p. 129–139, 1995.

HIRST, W. M.; MOUNTAIN, L. J.; MAHER, M. J. Are speed enforcement cameras more effective than other speed management measures? an evaluation of the relationship between speed and accident reductions. **Accident Analysis and Prevention**, Philadelphia PA, v. 37, n. 4, p. 731–741, 2005.

HÖGLUND, P. G. **Estimating traffic related exhaust emissions and immissions at road- and street intersections**. Esitelmä: KFB & VTI Research, 1995. 12 p.

HOOKE, A.; KNOX, J.; PORTAS, D. **Cost benefit analysis of traffic light and speed cameras**. London: Crown Prosecution Service, 1996. 58 p.

IBRAHIM, N. I.; ARIF, W. R.; KARIM, M. R. Road humps as traffic calming devices. In: EASTERN ASIA SOCIETY FOR TRANSPORTATION STUDIES, 5., 2003, Fukuoka. **Proceedings...** Tokyo: Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2003. p. 1435–1441.

INSTITUTE FOR HEALTH METRICS AND EVALUATION. **The global burden of disease: generating evidence, guiding policy**. Seattle, WA: Institute for Health Metrics and Evaluation, 2013. 50 p.

MUNICÍPIO DE IJUÍ. CT implantará novas lombadas físicas. Ijuí, RS, 24 fev. 2011. Disponível em: <<http://www.ijui.rs.gov.br/noticia/index/16894>>. Acesso em: 14 maio 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA. **Portaria nº 115, de 29 jun. 1998**: Dispõe sobre medidores velocidade para veículos automotivos. Brasília, 1998.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA; ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES PÚBLICOS. Redução das deseconomias urbanas com a melhoria do transporte público. **Revista dos Transportes Públicos**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 35–92, 1999.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA; ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas aglomerações urbanas brasileiras**: relatório executivo. Brasília, 2003. 43 p.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA; DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO; ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras**: relatório executivo. Brasília, 2006. 79 p.

ITALIANI, R. Metade das lombadas causa riscos a motorista e pedestre. **Agora São Paulo**, São Paulo, 27 fev. 2012. Disponível em: <<http://www.agora.uol.com.br/saopaulo/ult10103u1053905.shtml>>. Acesso em: 25 maio 2012.

JAGTMAN, H. M.; HALE, A. R.; HEIJER, T. A support tool for identifying evaluation issues of road safety measures. **Reliability Engineering and System Safety**, Philadelphia PA, v. 90, n. 2-3, p. 206–216, 2005.

JAMISON, D. T.; BREMAN, J. G.; MEASHAM, A. R.; ALLEYNE, G.; CLAESON, M.; EVANS, D. B.; JHA, P.; MILLS, A.; MUSGROVE, P. (Eds.). **Priorities in health**. Washington DC: The World Bank, 2006. 217 p.

JOHNSON, L.; NEDZESKY, A. J. A comparative study of speed humps, speed slots and speed cushions. In: ITE ANNUAL MEETING AND EXHIBIT, 2004, Lake Buena Vista. **Proceedings...** Washington DC: Institute of Transportation Engineers, 2004. 14 p.

JOST, P.; HASSEL, D.; WEBER, F.-J. **Emission and fuel consumption modelling based on continuous measurements**. Köln: TÜV Rheinland, 1992. 42 p.

JOVEM morre após perder controle em quebra-mola e bater em carreta. **G1**, São Paulo, 17 nov. 2012. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2012/11/jovem-morre-apos-perder-controle-em-quebra-mola-e-bater-em-carreta.html>>. Acesso em: 24 maio 2013.

KOKOWSKI, P.; MAKAREWICZ, R. Predicted effects of a speed bump on light vehicle noise. **Applied Acoustics**, Philadelphia PA, v. 67, n. 6, p. 570–579, 2006.

KREMER, R. Irregularidades em licitações e contratos impedem que cidades do Estado tenham radares em suas vias. **Diário Catarinense**, Florianópolis, 2012. Disponível em: <<http://diariocatarinense.clicrbs.com.br/sc/geral/transito-24-horas/noticia/2012/04/irregularidades-em-licitacoes-e-contratos-impedem-que-cidades-do-estado-tenham-radares-em-suas-vias-3713834.html>>. Acesso em: 13 maio 2013.

LANDMANN, M. C.; RIBEIRO, H.; DEÁK, C. Uma proposta metodológica para estimar o custo da poluição do ar nas análises de viabilidade de sistemas de transportes urbanos. **Transportes**, São Carlos, v. 15, n. 1, p. 42–49, 2007.

LEAL, T. A. C. B.; BECK, R. V.; ANDRADE, N. P. de. Um estudo de viabilidade de implantação de medidas de *traffic calming* em Brasília - DF. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE TRANSPORTE E TRÂNSITO, 11., 1997, Belo Horizonte. **Transporte humano para um Brasil urbano. Anais...** São Paulo: ANTP, 1997. 10 p.

LINJARDI, F. Ruas vão ter lombadas 'educativas' que sinalizam velocidade dos veículos. **O Diário**, Maringá, 2011. Disponível em: <<http://maringa.odiarario.com/maringa/noticia/519299/ruas-vao-ter-lombadas-educativas-que-sinalizam-velocidade/>>. Acesso em: 13 maio 2013.

LOMBADA mal sinalizada provoca acidente na BR 476. **A Tribuna Regional**, Lapa, PR, 30 out. 2010. Disponível em: <<http://www.tribunaregionaldalapa.com.br/index.php?mod=3&id=1602>>. Acesso em: 24 maio 2013.

LOPES, M. M. B. **Fiscalização eletrônica da velocidade de veículos no trânsito: caso de Niterói**. 2006. 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes)—Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

MACIEL, E. T. **Estudo dos impactos da ondulação transversal nas velocidades veiculares em trechos viários urbanos**. 2010. 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes)—Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

MÂNICA, A. G. **Modelo de previsão de acidentes rodoviários envolvendo motocicletas**. 2007. 175 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)—Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

MANZOLI, A. **Análise das emissões veiculares em trajetos urbanos curtos com localização por GPS**. 2009. 180 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes)—Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

MEDEIROS, Â. Indenização para motociclista que se acidentou em lombada mal sinalizada. **Poder Judiciário de Santa Catarina**, Florianópolis, 17 jan. 2012. Disponível em: <<http://app.tjsc.jus.br/noticias/listanoticia!viewNoticia.action?cdnoticia=25072>>. Acesso em: 24 maio 2013.

MICHEL, T. Moradores fazem lombada ilegal no Campeche, em Florianópolis. **Hora de Santa Catarina**, Florianópolis, 4 maio 2013. Disponível em: <<http://www.clicrbs.com.br/especial/sc/horadesantacatarina/19,792,4126814,Moradores-fazem-lombada-ilegal-no-Campeche-em-Florianopolis.html>>. Acesso em: 24 maio 2013.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Fraude dos pardais: Eliseu Kopp é condenado em ação de Sapucaia do Sul. **Agência de Notícias do Ministério Público do Estado do Rio Grande do Sul**, 2013. Disponível em: <<http://www.mprs.mp.br/noticias/id32496.htm>>. Acesso em: 18 jun. 2014.

MOTORISTAS encontram sinalização ruim nas rodovias federais. **Jornal Nacional**, Rio de Janeiro, 14 fev. 2013a. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2013/02/motoristas-encontram-sinalizacao-ruim-nas-rodovias-federais.html>>. Acesso em: 24 maio 2013.

MOTORISTAS reclamam de excesso de quebra-molas na MA-245. **G1**, São Paulo, 9 maio 2013b. Disponível em: <<http://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2013/05/motoristas-reclamam-de-excesso-de-quebra-molas-na-ma-245.html>>. Acesso em: 24 maio 2013.

MOTORISTAS se ferem ao passar por lombada. **Diarioweb**, São José do Rio Preto, 10 maio 2013c. Disponível em: <<http://www.diarioweb.com.br/novoportal/Noticias/Cidades/134991,,Motoristas+se+ferem+ao+passar+por+lombada+.aspx>>. Acesso em: 24 maio 2013.

MOTTA, R. S. da; MENDES, A. P. F. **Custos de saúde associados à poluição do ar no Brasil**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 1994. 32 p.

MOTTA, R. S. da; ORTIZ, R. A.; FERREIRA, S. d. F. **Avaliação econômica dos impactos causados pela poluição atmosférica na saúde humana: um estudo de caso para São Paulo**. São Paulo: CETESB, 1998. 19 p.

MOUNTAIN, L. J.; HIRST, W. M.; MAHER, M. J. Are speed enforcement cameras more effective than other speed management measures? The impact of speed management schemes

on 30 mph roads. **Accident Analysis and Prevention**, Philadelphia PA, v. 37, n. 4, p. 742–754, 2005.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Procedimentos para o tratamento de locais críticos de acidentes de trânsito**. Programa PARE, 2002. 74 p.

MULHER indenizada por queda em ônibus, em Minas Gerais. **O Tempo**, Contagem, MG, 10 dez. 2009. Disponível em: <<http://www.otempo.com.br/cidades/mulher-indenizada-por-queda-em-%C3%B4nibus-em-minas-gerais-1.494314>>. Acesso em: 24 maio 2013.

NOVOA, A. M.; PÉREZ, K.; SANTAMARIÑA-RUBIO, E.; MARÍ-DELL'OLMO, M.; TOBIÁS, A. Effectiveness of speed enforcement through fixed speed cameras: a time series study. **Injury Prevention**, London, v. 16, n. 1, p. 12–16, 2010.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT; EUROPEAN CONFERENCE OF MINISTERS OF TRANSPORT. **Speed management**. Paris, 2006. 282 p.

OGDEN, K. W. **Safer roads: a guide to road safety engineering**. Aldershot: Avebury Technical, 1996. 516 p.

PAES, M. A.; MELLO, J. A. C. de; QUINTELLA, L.; GOULART, R. B. **Auditoria operacional na ação "Fiscalização Eletrônica em Vias Públicas"**. Rio de Janeiro: Tribunal de Contas do Município do Rio de Janeiro, 2008. 28 f.

PASSAGEIRA cai em ônibus após lombada e vai receber R\$ 31 mil. **G1**, São Paulo, 24 jun. 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2013/06/passageira-cai-em-onibus-apos-lombada-e-vai-receber-r-31-mil.html>>. Acesso em: 25 jun. 2013.

PEARCE, D.; ATKINSON, G.; MOURATO, S. **Cost-benefit analysis and the environment: recent developments**. Paris: OECD, 2006. 315 p.

PERSAUD, B.; LYON, C. Empirical Bayes before-after safety studies: lessons learned from two decades of experience and future directions. **Accident Analysis and Prevention**, Philadelphia PA, v. 39, n. 3, p. 546–555, 2007.

PONNALURI, R. V.; GROCE, P. W. Operational effectiveness of speed humps in traffic calming. **ITE Journal**, Washington DC, v. 75, n. 7, p. 26–30, 2005.

RESENDE, P. **Em busca de mais segurança e menos mortes em rodovias da América Latina: o caso brasileiro**. Washington DC, São Paulo: Banco Interamericano de Desenvolvimento; Fundação Dom Cabral, 2011. 41 p.

REZENDE, A. J.; NAKAO, S. H.; ABRÃO, G. **Estudo sobre a carga tributária dos combustíveis: CIDE, PIS, COFINS, ICMS e ICMS Sub. Tributária**. Ribeirão Preto: Universidade de São Paulo, 2011. 22 p.

RIOS, C. D.; PINHEIRO, J. Proposta de um novo modelo de redutor de velocidade (ondulação transversal - OT tipo II) para vias urbanas. In: RIO DE TRANSPORTES, 3., 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: BNDES, 2005. 12 p.

ROBERTSON, S.; WARD, H.; MARSDEN, G.; SANDBERG, U.; HAMMERSTROM, U. **The effect of speed on noise, vibration and emissions from vehicles**. London: Centre for Transport Studies, 1998. 49 p.

ROMERO, S. M. A.; SILVA, R. R.; BRASIL, A. C. M. Influência do congestionamento e modo de condução, nas velocidades, consumos e emissões de um ônibus urbano. **Transportes**, São Carlos, v. 12, n. 2, p. 37–41, 2004.

ROSA, C. N. **Custos da perda de uma vida e médico-hospitalares nos acidentes de trânsito**. 2006. 236 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)—Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

ROSSI, P. H.; FREEMAN, H. E. **Evaluation: a systematic approach**. 3 ed. Beverly Hills: Sage, 1985. 92 p.

ROVER, T. DF deve indenizar motociclista por acidente em lombada. **Revista Consultor Jurídico**, São Paulo, 6 fev. 2014. Disponível em: <<http://www.conjur.com.br/2014-fev-06/estado-responsavel-acidente-causado-falta-sinalizacao>>. Acesso em: 8 fev. 2014.

MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. Lombadas irregulares viram alvo da subprefeitura. São Paulo, 17 fev. 2012. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/capela_do_socorro/noticias/?p=30647>. Acesso em: 24 maio 2013.

SCUFFHAM, P. A. Cost-effectiveness analyses for injury prevention initiatives in low- and middle-income countries. **Injury Prevention**, London, v. 14, n. 4, p. 217–219, 2008.

SELO do Inmetro vai coibir falsificação de catalisador. **Valor Econômico**, São Paulo, 13 set. 2010. Disponível em: <<http://www.pdp.gov.br/Paginas/DetailamentoNoticia.aspx?ItemID=484>>. Acesso em: 20 nov. 2013.

SEVERO, F. Carro sem catalisador polui cerca de 20 vezes mais. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 8 fev. 2009. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/classificados/veiculos/ult1670u500661.shtml>>. Acesso em: 15 out. 2013.

SHIN, K.; WASHINGTON, S. P.; SCHALKWYK, I. van. Evaluation of the Scottsdale Loop 101 automated speed enforcement demonstration program. **Accident Analysis and Prevention**, Philadelphia PA, v. 41, n. 3, p. 393–403, 2009.

SHIRES, J. D.; JONG, G. C. de. An international meta-analysis of values of travel time savings. **Evaluation and Program Planning**, Philadelphia PA, v. 32, n. 4, p. 315–325, 2009.

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

SILVA, J. P. C. da; SECO, Á. J. d. M.; SILVA, A. M. C. B. Evaluation of the effects of road humps on pollution emissions. In: WORLD CONFERENCE ON TRANSPORT

RESEARCH, 12., 2010, Lisbon. **Proceedings...** Lisbon: World Conference on Transport Research Society, 2010. 16 p.

SÍNTESE dos preços praticados – Brasil. **ANP**, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Mensal_Combustiveis.asp>. Acesso em: 29 maio 2013.

SMTT pode entrar na Justiça contra quem construir lombadas irregulares. **G1**, São Paulo, 9 abr. 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2013/04/smtt-pode-entrar-na-justica-contra-quem-construir-lombadas-irregulares.html>>. Acesso em: 24 maio 2013.

STUMPF, M. T. **Análise dos efeitos da barreira eletrônica com informador de velocidade sobre a operação do tráfego**. 1999. 153 p. Dissertação (Mestrado em Transportes Urbanos)– Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

TABELA de formação de preços da gasolina. **FECOMBUSTÍVEIS**, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.fecombustiveis.org.br/index.php?option=com_fabrik&Itemid=178>. Acesso em: 29 maio 2013.

TEODORO, A. B.; ALCÂNTARA, F. A.; ALMEIDA, I. L. de; BAVOSO, N. C.; BARBOSA, H. M. Avaliação do efeito de rotatórias e ondulações transversais na velocidade em vias urbanas. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 26., 2012, Joinville. **Anais...** Rio de Janeiro: Anpet, 2012. 12 p.

TOROYAN, T. **Global status report on road safety: time for action**. Geneva: WHO, 2009. 287 p.

_____. **Global status report on road safety 2013: supporting a decade of action**. Geneva: World Health Organization, 2013. 303 p.

VAN EVERY, B.; HOLMES, M. Local area traffic management: effects on the environment. In: SOUTH AUSTRALIAN LOCAL GOVERNMENT ENGINEERING CONFERENCE, 1992, Adelaide. **Engineering and the environment**. Walkerville: South Australian Department of Road Transport, 1992. 21 p.

VIEIRA, J. L. d. P. Questões que envolvem os controladores de velocidade utilizados na fiscalização de trânsito no Brasil. **Câmara dos Deputados**, Brasília, 2003. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/estnottec/tema14/pdf/312341.pdf>>. Acesso em: 9 fev. 2014.

WATERS, H. R.; HYDER, A. A.; PHILLIPS, T. L. Economic evaluation of interventions to reduce road traffic injuries: a review of the literature with applications to low and middle-income countries. **Asia-Pacific Journal of Public Health**, Singapore, v. 16, n. 1, p. 23–31, 2004.

WATTS, G. R.; KRYLOV, V. V. Ground-borne vibration generated by vehicles crossing road humps and speed control cushions. **Applied Acoustics**, Philadelphia PA, v. 59, n. 3, p. 221–236, 2000.

WEBSTER, D. C. **Effect of traffic calming schemes on vehicle emissions.** Crowthorne: Transport Research Laboratory, 1993. 39 p.

WILDE, G. J. S. **Target risk:** dealing with the danger of death, disease and damage in everyday decisions. Toronto: PDE Publications, 1994. 243 p.

YANNIS, G.; EVGENIKOS, P. Traffic calming measures: implementation of low cost traffic engineering measures at municipality level. In: WINKELBAUER, M.; STEFAN, C. **Testing the efficiency assessment tools on selected road safety measures.** Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen, 2005. p. 96–113.

YANNIS, G.; GITELMAN, V.; PAPADIMITRIOU, E.; HAKKERT, A. S.; WINKELBAUER, M. Testing a framework for the efficiency assessment of road safety measures. **Transport Reviews**, London, v. 28, n. 3, p. 281–301, 2008.

ZERBE, R. O.; BELLAS, A. S. **A primer for benefit-cost analysis.** Cheltenham UK: Edward Elgar, 2006. 316 p.

ZÜGER, P.; BLESSING, R. Emissions nocives du trafic: les méfaits des embouteillages et des gendarmes couchés. **Touring: Journal du Touring Club Suisse**, Vernier, n. 1, p. 34–37, 1995.