



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES

VANESSA JAMILLE MESQUITA XAVIER

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO PARA
IDENTIFICAÇÃO DE PONTOS CRÍTICOS: APLICAÇÃO EM INTERSEÇÕES
SEMAFORIZADAS**

FORTALEZA

2016

VANESSA JAMILLE MESQUITA XAVIER

ANÁLISE COMPARATIVA DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO PARA
IDENTIFICAÇÃO DE PONTOS CRÍTICOS: APLICAÇÃO EM INTERSEÇÕES
SEMAFORIZADAS

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências (M. Sc.) em Engenharia de Transportes.

Orientador: Prof. Flavio José Craveiro Cunto,
PhD.

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- X24a Xavier, Vanessa Jamille Mesquita.
Análise comparativa das medidas de desempenho para identificação de pontos críticos: aplicação em interseções semaforizadas / Vanessa Jamille Mesquita Xavier. – 2016.
84 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Fortaleza, 2016.
Orientação: Prof. Dr. Flavio José Craveiro Cunto.
1. Segurança Viária. 2. Métodos de Identificação de Pontos Críticos. 3. Medidas de Desempenho. 4. Interseções Semaforizadas. I. Título.

CDD 388

VANESSA JAMILLE MESQUITA XAVIER

ANÁLISE COMPARATIVA DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO PARA
IDENTIFICAÇÃO DE PONTOS CRÍTICOS: APLICAÇÃO EM INTERSEÇÕES
SEMAFORIZADAS

Dissertação submetida ao Programa de Pós
Graduação em Engenharia de Transportes da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial para obtenção do Título de Mestre em
Ciências (M.Sc.) em Engenharia de
Transportes. Área de Concentração:
Planejamento e Operação do Sistema de
Transportes.

Aprovada em: 07/11/2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Flávio José Craveiro Cunto, PhD. (UFC)
(Orientador)

Prof. Mário Ângelo Nunes de Azevedo, DSc. (UFC)
(Examinador Interno)

Profª. Christine Tessele Nodari, DSc. (UFRGS)
(Examinadora Externa)

Aos meus pais, Suely e Xavier, que sempre me deram amor e investiram na minha formação.
Ao meu irmão, Gabriel, pela paciência e amizade.
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Maria Suely e Francisco Xavier, pelo amor, atenção e compreensão para conclusão desta nova etapa da vida.

Ao meu irmão, Gabriel Domingos, pelos dias de felicidade compartilhados e pelo apoio quando necessito.

A minha família, tias, tios, primos, primas, avôs e avós pela força nas conquistas ao longo da vida.

Ao meu orientador, Prof. Flávio Cunto pela motivação, ensinamentos, compreensão, cobrança necessária e por acreditar na minha capacidade acadêmica proporcionando a satisfação pelo trabalho desenvolvido e a sensação de dever cumprido.

Aos Prof. Mário Ângelo e Prof.^a Christine Nodari, pelas orientações realizadas durante a qualificação proporcionando as oportunidades necessárias para o desenvolvimento desta pesquisa.

À Universidade Federal do Ceará (UFC) e a todos os professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes (PETRAN) que contribuíram no meu desenvolvimento acadêmico.

À Autarquia Municipal de Trânsito e Cidadania (AMC), pela disponibilização dos dados.

Aos meus amigos da disciplina Segurança Viária, Marcos Timbó e Caio Torres, por me acolherem no mestrado e dividirem os seus conhecimentos.

À todos os amigos que fiz no GTTEMA, seres humanos maravilhosos e iluminados que encontrei na minha vida. Vou levar uma lembrancinha doce e agradável de cada um de vocês, espero fortalecer cada vez mais esses laços ao longo dos anos, pois vivemos muitas coisas produtivas como os diálogos existenciais, a ajuda nas disciplinas, os sorrisos e abraços compartilhados e as ressacas científicas.

Por fim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

RESUMO

Os métodos de identificação de pontos críticos são um passo fundamental para determinação da eficácia global do processo de gestão da segurança viária. O *Highway Safety Manual* disponibiliza 13 medidas de desempenho para a identificação de locais críticos, que exigem diferentes níveis de integridade e precisão dos sistemas de dados de acidentes, bem como diferentes técnicas de modelagem da segurança viária. No Brasil, manuais para identificação de locais críticos são geralmente baseados apenas na frequência e taxa de acidentes como medidas de desempenho da segurança. Este estudo apresenta uma análise comparativa das medidas de desempenho da segurança viária na cidade de Fortaleza, Brasil, considerando as suas limitações na aplicabilidade de uma amostra de interseções semaforizadas. Dados sobre os acidentes, volume de tráfego e atributos geométricos das vias referentes aos anos de 2009, 2010 e 2011 foram utilizados para estimar as medidas de desempenho de segurança, incluindo as que envolvem o desenvolvimento e aplicação de modelos de previsão de acidentes. A análise comparativa entre as medidas de desempenho foi obtida através da diferença entre as posições na lista classificatória de cada medida de desempenho e o excesso esperado na frequência média de acidentes com o ajuste bayesiano empírico. Além disso, foi feita uma análise temporal baseada na consistência das medidas de desempenho ao longo de períodos de tempo subsequentes. Os resultados sugeriram uma correspondência razoável entre o excesso esperado na frequência média de acidentes com o ajuste bayesiano empírico e a medida de desempenho taxa de acidentes.

Palavras-chave: Segurança Viária, Métodos de Identificação de Pontos Críticos, Medidas de Desempenho, Interseções Semaforizadas.

ABSTRACT

The overall effectiveness of the roadway safety management process relies on a robust method for identifying and ranking sites with major potential for safety improvements. In Brazil, manuals for hotspot identification are usually based only on crash frequency and crash rate as safety performance measures. The Highway Safety Manual proposes 13 performance measures for hotspot identification which require different levels of completeness and accuracy of accident data systems as well as different modeling skills from safety staff. It is common that jurisdictions in the infant stage of the roadway safety management process would apply less informative safety performance measures. This study presents a comparative analysis of safety performance measure taking into account its limitations applicability to a sample of signalized intersections from the city of Fortaleza, Brazil. Crash data as well as traffic and geometric attributes for the years of 2009, 2010 and 2011 were used to estimate safety performance measures including those involving the development and application of safety performance functions. The performance of each measure to rank the sample intersection was achieved through the rank difference between each performance measure and the excess expected average crash frequency with empirical Bayes adjustment. In addition, it has taken a temporal analysis based on consistency of performance measures during subsequent time periods. The results have suggested a reasonable matching between the excess expected average crash frequency with empirical Bayes adjustment and very simple ones.

Keywords: Road Safety, Methods of Critical Points Identification, Performance Measures, Signalized Intersections.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 -MIPC proposto pelo HSM.	5
Figura 2.2- MIPC proposto pelos manuais brasileiros.	7
Figura 2.3- Potenciais causas e conseqüências dos acidentes de trânsito.	9
Figura 2.4 -Método Geral de Identificação de Pontos Críticos.	10
Figura3.1 - Fluxograma das etapas metodológicas para comparação de medidas de desempenho.....	24
Figura 4.1 -Localização dos semáforos na área urbana de Fortaleza.	33
Figura 4.2 -Localização dos semáforos na área urbana de Fortaleza.	33
Figura 4.3 -Amostra de interseções utilizadas no estudo de caso.	34
Figura 4.4- Diferenças entre as posições das listas do EEB e do TAC, NSS e EMPA.....	38
Figura 4.5 -Diferenças entre as posições das listas do EEB e do FMA, EB e UPS.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 -Categorias do Nível de Serviço da Segurança.	15
Tabela 2.2 - Medidas de Desempenho propostas pelos manuais de segurança viária.	19
Tabela 3.1 -Medidas de desempenho que geram listas classificatórias ou um valor limite.	27
Tabela 4.1 -Taxa de crescimento médio anual.	35
Tabela 4.2 -Análise descritiva das variáveis por local.	35
Tabela 4.3 -Listas Classificatórias de cada Medida de Desempenho.	37
Tabela 4.4 -Raiz do erro médio quadrático das Medidas de Desempenho.	38
Tabela 4.5 - Vinte locais mais críticos identificados pelo método EEB.	41
Tabela 4.6 - Somatório do EEB para o T1.	42
Tabela 4.7 -Número de locais identificados como verdadeiramente críticos para o T2.	43
Tabela 4.8 - Somatório da diferença das posições das listas classificatórias para o T3.	43
Tabela 4.9 - Índice de desempenho da segurança viária.	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Problema de pesquisa.....	2
1.2	Questões de pesquisa.....	2
1.3	Objetivos de pesquisa.....	3
1.4	Estrutura do trabalho.....	4
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1	Métodos de identificação de pontos críticos.....	4
2.1.1	<i>MIPC - Norte-americano.....</i>	<i>5</i>
2.1.2	<i>MIPC – Brasileiro.....</i>	<i>6</i>
2.1.3	<i>MIPC mais recentes.....</i>	<i>7</i>
2.1.4	<i>Medidas de desempenho usadas pelos MIPC.....</i>	<i>11</i>
2.1.5	<i>Elementos necessários à estimação das medidas de desempenho</i>	<i>18</i>
2.2	Metodologias de comparação entre MIPC	21
3	METODOLOGIA	25
3.1	Seleção da população de referência.....	24
3.2	Coleta e estimativa de dados	25
3.3	Estimação das medidas de desempenho	27
3.4	Análise comparativa das medidas de desempenho	28
3.4.1	<i>Análise comparativa baseada nas listas classificatórias</i>	<i>29</i>
3.4.2	<i>Análise comparativa baseada na consistência temporal.....</i>	<i>30</i>
4	ANÁLISE DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO ESTIMADAS PARA A ÁREA URBANA DE FORTALEZA.....	33
4.1	Seleção da população de referência	32
4.2	Coleta e estimação dos dados.....	34
4.3	Estimação das medidas de desempenho	35
4.4	Análise Comparativa entre as medidas de desempenho	36
4.4.1	<i>Análise comparativa baseada nas listas classificatórias</i>	<i>36</i>
4.4.2	<i>Análise comparativa baseada na consistência temporal.....</i>	<i>41</i>
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	46
5.1	Conclusões	45
5.2	Recomendações	48

REFERÊNCIAS	50
APÊNDICE	53
APÊNDICE A: NÚMERO DE ACIDENTES OBSERVADOS POR SEVERIDADE NA AMOSTRA DO ESTUDO DE CASO PARA O ANO DE 2009.	54
APÊNDICE B: NÚMERO DE ACIDENTES OBSERVADOS POR SEVERIDADE NA AMOSTRA DO ESTUDO DE CASO PARA O ANO DE 2010.	57
APÊNDICE C: NÚMERO DE ACIDENTES OBSERVADOS POR SEVERIDADE NA AMOSTRA DO ESTUDO DE CASO PARA O ANO DE 2011.	60
APÊNDICE D: VOLUMES DIÁRIOS MÉDIOS MENSIS ESTIMADOS PARA O ESTUDO DE CASO DOS ANOS DE 2009, 2010 E 2011.	63
APÊNDICE E: RESULTADOS DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO PARA AMOSTRA DE INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS.	66
ANEXOS.....	69
ANEXO A: FATORES DE EXPANSÃO E ESTIMAÇÃO DO VOLUME DIÁRIO MÉDIO ANUAL (VDMA).....	70

1. INTRODUÇÃO

Todos os anos, a vida de quase 1,24 milhões de pessoas é abreviada devido aos acidentes de trânsito. Estes causam consideráveis perdas econômicas para as vítimas, suas famílias, e para as nações como um todo. Essas perdas decorrem do custo do tratamento (incluindo a reabilitação dos feridos e investigação de incidentes), bem como a redução / perda de produtividade (por exemplo, salários) dos desabilitados por seus ferimentos, e dos familiares que precisam se afastar do trabalho (ou escola) para cuidar do ferido (WHO, 2013).

No Brasil, segundo dados do Sistema de Informações de Mortalidade, do Ministério da Saúde, no ano de 2010, foram registradas aproximadamente 41 mil vítimas fatais no trânsito (Waiselfisz, 2012). A despesa financeira anual, devida aos acidentes de trânsito, no Brasil é estimada em aproximadamente R\$ 40 bilhões (IPEA, 2012).

O processo de gestão da segurança viária propicia a identificação de locais com um potencial na redução de acidentes, incluindo a identificação de possíveis medidas futuras e priorização, de acordo com o seu custo-benefício (AASHTO, 2010). Este processo é fundamental para a redução dos custos monetários e não monetários causados pelos acidentes de trânsito.

A identificação de pontos críticos é o primeiro passo do processo de gestão da segurança viária. Um ponto crítico pode ser definido como um local em que a frequência de acidentes, ou outro indicador de segurança, é "inaceitavelmente alto" e, portanto, contramedidas de segurança são mais justificáveis. O estabelecimento de programas de melhoria da segurança viária geralmente depende de bons métodos de identificação de pontos críticos.

Os métodos de identificação de pontos críticos são comumente baseados em medidas de desempenho de segurança que variam desde a frequência observada de acidentes até medidas de segurança mais sofisticadas obtidas a partir de modelos estatísticos e do uso do método empírico de Bayes (Hauer *et al.*, 2002; Miranda-Moreno, 2006; Cheng e Washington, 2008; AASHTO, 2010; Montella, 2010). A diferença daqueles métodos são os requisitos necessários à aplicação deles e as limitações dos resultados obtidos. Esta limitação ocorre em virtude das medidas escolhidas para medir o desempenho da segurança viária.

Os métodos que utilizam medidas de desempenho mais robustas necessitam de bancos de dados mais completos e de um corpo técnico mais especializado, o que nem sempre

se encontra nos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil. Nestes países a limitação dos bancos de dados de acidentes é uma das maiores impedências para a aplicação das medidas de desempenho da segurança viária.

As propostas para identificação de locais críticos disponíveis nos manuais brasileiros (MT, 2002; DNIT, 2010) possuem métodos mais simples e de mais fácil aplicação cujas medidas de desempenho consideradas são: frequência observada de acidentes, unidade padrão de severidade, taxa crítica, taxa de acidente e taxa de severidade. Melhorias em sistemas de bancos de dados de acidentes, bem como investimentos para melhorar as habilidades de modelagem, são importantes para o desenvolvimento de estudos empíricos para explorar quantitativamente as diferenças entre os métodos de identificação de pontos críticos em função das medidas de desempenho da segurança viária aplicadas.

1.1. Problema de Pesquisa

Erros na identificação de locais críticos podem produzir locais verdadeiramente perigosos designados como seguros (falsos negativos) e locais relativamente seguros que são identificados como perigosos (falsos positivos). Estas falhas resultam em um uso ineficiente dos recursos destinados a melhorias da segurança viária e reduzem a eficácia global do processo de gestão da segurança. Portanto, a identificação correta dos pontos críticos é essencial para o sucesso da implantação de qualquer plano de segurança viária (Montella, 2010; Coll *et al.*, 2013; Ferreira e Martins, 2014).

Para ilustrar a dificuldade em escolher uma das medidas de desempenho que estimam a frequência esperada de acidentes, alguns autores (Hauer *et al.*, 2002; Elvik, 2008; Montella, 2010) afirmam que não é correto selecionar um local simplesmente porque a sua frequência de acidentes é, circunstancialmente, elevada, podendo significar apenas uma flutuação aleatória conhecida como o fenômeno da regressão à média.

O problema de pesquisa leva em conta os recentes avanços em técnicas de modelagem e na evolução das medidas de desempenho da segurança rodoviária, verificando-se que os principais métodos de identificação de pontos críticos aplicados ao atual cenário brasileiro, presentes em alguns manuais, tais como PARE (MT, 2002; DNIT, 2010), não incorporam de forma adequada a natureza estocástica de acidentes de trânsito.

1.2. Questões de Pesquisa

A partir do problema motivador desse trabalho podem-se estabelecer as seguintes questões de pesquisa:

- a) Quais são os requisitos necessários a aplicação dos métodos de identificação de pontos críticos e as limitações dos resultados obtidos em virtude das medidas de desempenho da segurança viária utilizadas?
- b) Como comparar as principais medidas de desempenho utilizadas para a identificação de pontos críticos considerando os aspectos inerentes à natureza aleatória e rara dos acidentes de trânsito?
- c) Quais são as medidas de desempenho que, comparativamente, produzem os melhores resultados na identificação e priorização de pontos críticos de acidentes de trânsito em interseções semaforizadas levando em conta o atual cenário brasileiro?

1.3. Objetivos de Pesquisa

No âmbito da contextualização da problemática apresentada é possível definir como objetivo geral avaliar comparativamente os principais métodos de identificação de pontos críticos aplicados à interseções semaforizadas, com foco em suas medidas de desempenho e sua adequabilidade a realidade brasileira. Como objetivos específicos, tem-se:

- a) Discutir os requisitos necessários a aplicação das medidas de desempenho para identificação de pontos críticos de maneira a distinguir quais delas retratam melhor os fatores que possam influenciar diretamente na frequência e severidade dos acidentes de trânsito.
- b) Revisar e aprimorar métodos de comparação de medidas de desempenho para identificação de pontos críticos disponíveis na literatura de modo a considerar os aspectos inerentes à natureza aleatória e rara dos acidentes de trânsito.
- c) Avaliar comparativamente as listas classificatórias das medidas de desempenho para identificação de pontos críticos a partir de um estudo de caso em interseções semaforizadas.
- d) Avaliar a consistência temporal dos métodos de identificação de pontos críticos aplicado ao ambiente de interseções semaforizadas.

1.4. Estrutura do Trabalho

Além deste, onde é incluindo o problema de pesquisa e os objetivos, esta dissertação é composta de mais quatro capítulos. No Capítulo 2, é apresentada a revisão bibliográfica sobre os principais métodos de identificação de pontos críticos, focando nas suas medidas de desempenho. Logo após, faz-se uma discussão sobre os métodos usados na comparação das medidas de desempenho. Por fim, são apresentados os elementos necessários à estimação das medidas de desempenho.

Em seguida, o Capítulo 3 descreve todo o processo metodológico realizado neste estudo para comparar as medidas de desempenho usadas na identificação de pontos críticos.

No Capítulo 4, são descritos os resultados da aplicação do método proposto no Capítulo 3 e discutidas as estimativas usadas para a aplicação das medidas de desempenho. Além disso, é feita uma avaliação das medidas de desempenho quando comparados a uma medida desempenho que melhor represente o fenômeno acidente de trânsito para um estudo de caso com interseções semaforizadas.

Por fim, no capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões deste trabalho, bem como as considerações finais acerca do seu objetivo. Ainda nesse capítulo são listadas as recomendações para novas pesquisas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, inicialmente, será apresentada uma descrição dos atuais métodos de identificação de pontos críticos. Em seguida, apresenta-se as medidas de desempenho necessárias para aplicação dos métodos de identificação de pontos críticos, apresentando as facilidades e as limitações inerentes à utilização das mesmas. As medidas de desempenho discutidas serão aquelas utilizadas posteriormente na metodologia do presente trabalho. Logo após, faz-se uma discussão sobre os métodos de comparação dos métodos de identificação de pontos críticos. Por fim, são apresentados os elementos necessários à estimação das medidas de desempenho.

2.1. Métodos de Identificação de Pontos Críticos

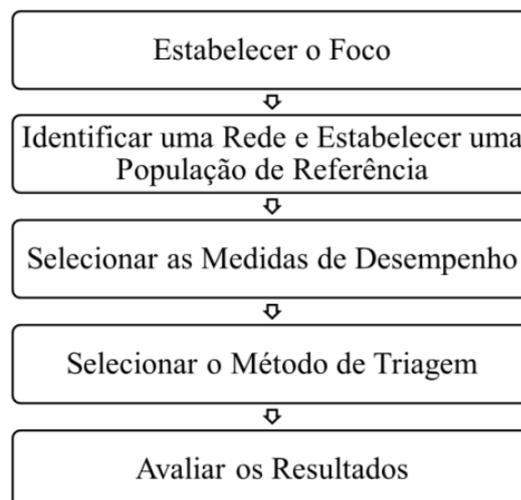
Os diferentes métodos de identificação de pontos críticos (MIPC) priorizam os locais através de medidas de desempenho e, em seguida, selecionam os locais para posterior

tratamento baseado em limites pré-determinados e restrições orçamentárias (MT, 2002; Miranda-Moreno, 2006).

2.1.1 MIPC - Norte-americano

O método de identificação de pontos críticos americano é usado como referência para técnicos e pesquisadores de segurança viária em diversos países, sendo assim objeto do presente estudo. O manual americano de segurança viária, *Highway Safety Manual* (HSM) (AASHTO, 2010), propõe um MIPC denominado *Network Screening*. As etapas deste método são as seguintes: podem ser vistas na Figura 2.1.

Figura 2.1 -MIPC proposto pelo *Highway Safety Manual*.



Fonte: AASHTO, (2010).

Estabelecer o foco significa definir um grupo específico, ou seja, um tipo específico de acidente ou gravidade de acidente em que se deseja concentrar os esforços de redução dos acidentes. Estes esforços podem ocorrer através da promoção de uma intervenção, seja ela uma modificação das características geométricas da via ou uma campanha pública.

Definido o foco, inicia-se a identificação dos elementos da rede a serem avaliados, tais como, interseções, segmento de vias, rampas e etc. Em seguida, esses elementos são organizados de maneira a definir um grupo de locais com características similares gerando assim a população de referência.

A terceira etapa da *Network Screening* consta na escolha das medidas de desempenho, também denominados como indicadores. Estes são usados para avaliar o potencial na redução da frequência ou severidade dos acidentes.

O quarto passo consiste em aplicar métodos de triagem em todos os locais em estudo. O HSM possui métodos de triagem para segmentos da via e para interseções. De acordo com o HSM (AASHTO, 2010), para cada segmento em estudo serão avaliadas as partes que constituem esse segmento, ou seja, o seu conjunto de subsegmentos. Em seguida, é definido qual subsegmento dentro do segmento em estudo é o mais crítico, o que tornará mais eficiente à aplicação de posteriores contramedidas. No caso das interseções o quarto passo corresponde à construção de uma lista classificatória, onde a interseção mais crítica ficará na primeira posição, a segunda interseção mais crítica, na segunda posição e assim sucessivamente.

Por fim, é realizada a etapa de avaliação dos resultados, onde haverá uma lista de locais selecionados de acordo com a medida de desempenho aplicada. Os locais ranqueados nas primeiras posições são considerados mais críticos. Várias medidas de desempenho podem ser aplicadas para um mesmo conjunto de dados, de tal maneira que os locais selecionados como críticos por várias dessas medidas possuem maior probabilidade de serem realmente críticos (AASHTO, 2010).

2.1.2 MIPC - Brasileiro

O MIPC sugerido pelo manual brasileiro PARE (MT, 2002) apresenta procedimentos que devem ser aplicados de acordo com as informações dos bancos de dados sobre acidentes de trânsito. Os treze procedimentos do manual brasileiro são aqui expostos em forma de etapas para tornar simples a compreensão do MIPC.

Quando o município possui um banco de dados informatizado ou com informações que não estão tabuladas, as etapas são as apresentadas na Figura 2.2. O MIPC sugerido pelo manual PARE se assemelha ao MIPC recomendado por outro manual brasileiro intitulado Identificação e Priorização de Segmentos Críticos para Estudos de Intervenção (DNIT, 2010).

Figura 2.2- MIPC proposto pelos manuais brasileiros.



Fonte: MT, (2002).

A coleta de dados consiste em identificar os locais onde ocorreram acidentes no período em estudo, além de obter as características específicas de cada local para que eles possam ser agrupados nas populações de referência pré-definidas. Com os dados obtidos, ocorrerá a etapa de tratamento de dados, onde serão feitas as seguintes exclusões: locais com número de acidentes menor ou igual a três, exceto aqueles com registro de pelo menos um óbito no período em estudo; locais onde ocorreram intervenções e casos de acidentes ocorridos por razões excepcionais. Em seguida, aplicam-se as medidas de desempenho e por fim, elabora-se uma lista com os locais críticos (MT, 2002; DNIT, 2010).

Existem casos onde o banco de dados possui informações de acidentes, porém estas estão indisponíveis ou incompletas. Nestes casos, a elaboração da lista de pontos críticos é obtida através de uma relação de cinco ou mais locais críticos listados por cinco avaliadores com amplo conhecimento do sistema viário local.

2.1.3 MIPC mais recentes

As medidas de desempenho mais complexas propostas pelo HSM necessitam da estimação de modelos de previsão de acidentes. Existem métodos que requerem um esforço de modelagem diferente do citado anteriormente, sendo eles: método probabilístico para identificação de zonas de acumulação de acidentes e índice de desempenho composto da segurança viária. O MIPC proposto por Ferreira e Couto (2012) utiliza como medida de desempenho a probabilidade de um local ser crítico com o uso de um modelo de regressão binário. As etapas do MIPC são: (i) definição de uma população de referência, (ii) geração de um modelo de regressão binário, (iii) listagem dos pontos críticos.

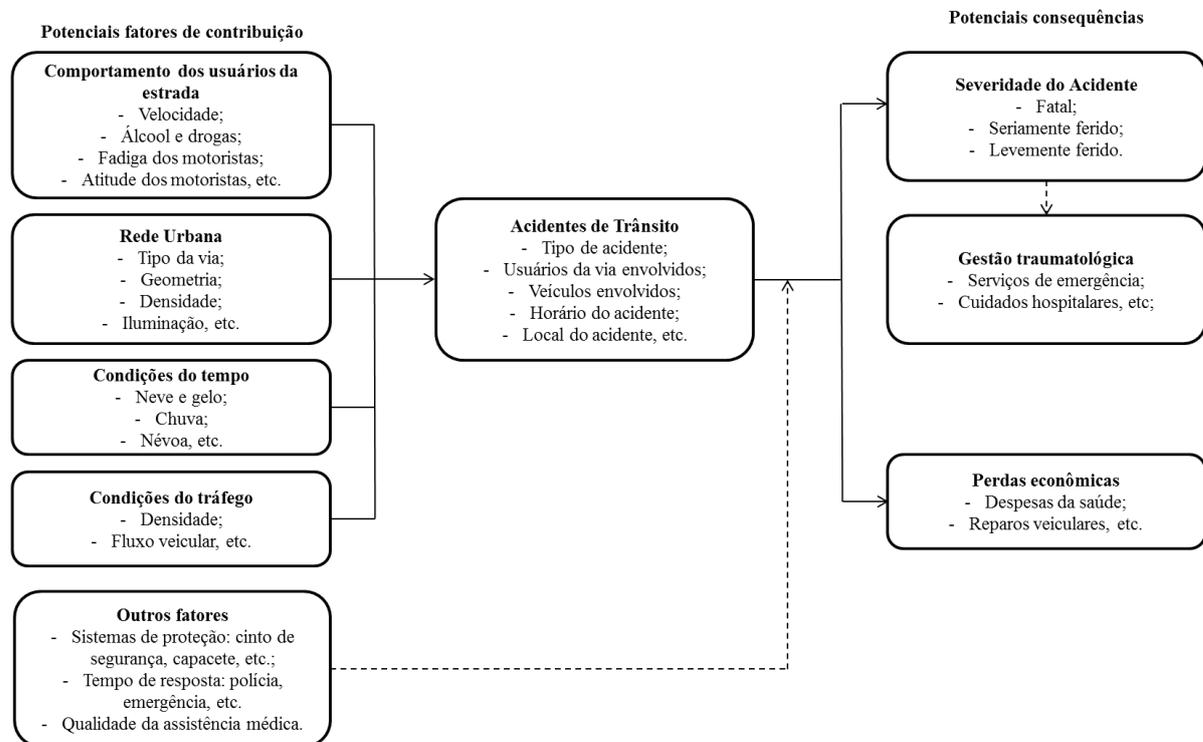
Na definição da população de referência para o estudo feito por Ferreira e Couto (2012), foram usados dados relativos a acidentes com vítimas e apenas com danos materiais ocorridos em interseções da cidade do Porto (Portugal). Para a geração do modelo de regressão binário, o artigo propõe a simulação de uma base de dados fictícia a partir da base de dados real do Porto. A construção da base de dados simulada permite uma amostra maior em relação à da base de dados real, ou seja, uma amostra mais significativa para calibração e validação do modelo de regressão binário. A amostra simulada é usada também para comparação entre as medidas de desempenho, este outro ponto será discutido na subseção de métodos de comparação presente nesta dissertação. O modelo de regressão binário possui como variável resposta 1 para locais críticos e 0 para locais seguros. Assim uma amostra pequena pode estar sujeita a alguns problemas como, por exemplo, no processo de calibração não possuir um número de locais críticos suficientes para que os parâmetros do modelo sejam significativos, ou ainda, não existir nenhum local crítico no processo de validação.

A simulação é um processo adaptado de Geedipally e Lord (2010) e consiste em gerar aleatoriamente valores de volume diário médio anual e variáveis binárias para número de ramos e para tipo de sinalização das interseções. Em seguida, calcula-se o número de acidentes por local, a partir de um modelo de regressão binomial cujos parâmetros da regressão são estimados usando a base de dados real e as variáveis independentes são as mesmas do processo de simulação. A geração aleatória das variáveis independentes pode formar combinações de interseções não existentes, além disso, as variáveis utilizadas, volume diário médio anual, número de aproximações e tipo de sinalização são correlacionadas entre si.

Coll *et al.* (2013) propõem um MIPC com foco em um novo método para agregar diferentes medidas de desempenho em um único índice, denominado índice de desempenho composto da segurança viária. As etapas para construção do índice são: (i) selecionar indicadores da segurança viário, (ii) comparar os pares de indicadores, (iii) desenvolver o índice de desempenho da segurança viária. Com os valores dos índices de cada local é possível construir uma lista classificatória. De acordo com Coll *et al.*, a principal medida de desempenho para avaliação da segurança rodoviária são os acidentes de trânsito, pois sem acidentes o campo de análise da segurança rodoviária seria provavelmente irrelevante. Porém, como visto na Figura 2.3, outros indicadores podem ser moldados como causa ou consequência dos acidentes de trânsito. Apesar de o artigo citar como necessária a etapa de

seleção de indicadores, não existe a sugestão de um método para tal etapa, sendo apenas abordada que esta é uma questão ainda a ser resolvida.

Figura 2.3- Potenciais fatores e consequências dos acidentes de trânsito.



Fonte: Coll *et al.*, (2010).

Após a seleção de indicadores, é realizada a etapa de comparação entre os indicadores selecionados. Dois indicadores são comparáveis quando existe uma relação prefixada entre esses indicadores da seguinte maneira: a ocorrência de um dos indicadores pode resultar na ocorrência de outros indicadores. No estudo de caso do artigo, por exemplo, o seguinte par de indicadores é comparável: número total de acidentes e número de veículos envolvidos em um acidente. Pois, a ocorrência de um acidente envolve pelo menos um veículo. Dois indicadores são condicionalmente comparáveis, se e somente se, a ocorrência de um dos indicadores é condicionada pela ocorrência do outro indicador. A consequência de dois indicadores serem condicionalmente comparáveis é a de que eles são comparáveis entre si. Quando dois indicadores de pares diferentes são comparáveis entre si, esses pares de indicadores também são comparáveis. Um par de indicadores é formado quando os indicadores são condicionalmente comparáveis e o conjunto de pares de indicadores é

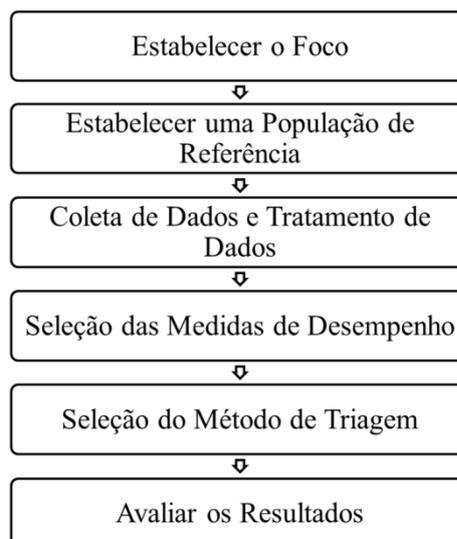
formado quando os pares são comparáveis entre si. Diante dessas relações e dos indicadores disponíveis é formado o conjunto de pares de indicadores comparáveis.

Para a construção do índice de desempenho da segurança viária é desenvolvido um índice de desempenho da segurança marginal baseado em um processo de normalização dos dados para cada par de indicador. Este processo busca preservar propriedades importantes dos dados, como por exemplo, uma vez que um acidente deve envolver pelo menos um veículo, portanto, o número de veículos envolvidos em acidentes é sempre maior ou igual ao número de acidentes.

Uma comparação feita por Coll *et al.* (2013), sugere que o novo método de agregação é muito semelhante nos resultados das listas classificatórias, em termos temporais, quando comparado a técnica mais básica de agregação. Esta técnica atribui pesos semelhantes para cada indicador. Diante disso e da existência de outros índices, descritos na próxima seção, com agregações baseadas no custo por severidade dos acidentes, por exemplo, o novo índice proposto não será usado no presente trabalho de dissertação.

Os métodos apresentados possuem etapas semelhantes entre si e específicas. As etapas semelhantes condizem aos procedimentos necessários para definir a população de referência e a avaliação dos resultados a partir da lista de pontos críticos. As etapas específicas são aquelas necessárias para aplicação da medida de desempenho. Portanto, compreende-se que os MIPC apresentados se inserem no método geral exposto na Figura 2.4.

Figura 2.4 -Método Geral de Identificação de Pontos Críticos.



Fonte: O autor.

2.1.4 Medidas de desempenho usadas pelos MIPC

Uma das etapas dos MIPC é a escolha de uma medida de desempenho para ser aplicada. Muitas vezes a medida de desempenho é confundida com o próprio MIPC, mas ela ,por si só não identifica o ponto crítico, sendo necessárias etapas antes e depois da aplicação da medida de desempenho que unidas formam o MIPC.

Esta seção apresentará as medidas de desempenho que podem ser comparadas baseadas na posição dos locais nas suas listas classificatórias, são elas: Frequência Média de Acidentes (FMA), Taxa de Acidentes (TAC), Taxa Crítica de Acidentes (TCR), Unidade Padrão de Severidade (UPS), Excesso Previsto na Frequência Média de Acidentes usando o Método dos Momentos (EMM), Nível de Serviço da Segurança (NSS), Excesso previsto na Frequência Média de Acidentes usando os MPA (EMPA), Probabilidade de um tipo específico de acidente exceder um Limite de Proporção (ELP), Excesso na proporção de Acidentes Específicos (EPAE), Frequência Média de Acidentes esperada usando o ajuste empírico de Bayes (EB), Frequência Média de Acidentes UPS com ajuste empírico de Bayes (UPS - EB), Excesso esperado na Frequência Média de Acidentes com ajuste empírico de Bayes (EEB), Probabilidade de um local ser crítico pelo Modelo Binário (MB). A sequência de apresentação das medidas de desempenho seguirá o critério da quantidade de dados necessário para aplicação das mesmas.

As medidas que necessitam apenas dos dados de acidentes por local são: Frequência Média de Acidentes (FMA) e Excesso Previsto na Frequência Média de Acidentes usando o Método dos Momentos (EMM).

A **Frequência Média de Acidentes (FMA)** é o simples número observado de acidentes em um determinado período de tempo podendo ser de um determinado tipo ou gravidade.

Se um local é tratado porque a sua contagem de acidentes de um período de tempo anterior era anormalmente alta ou anormalmente baixa, em seguida, a mesma FMA não pode possivelmente ser uma boa estimativa do número observado de acidentes de um período posterior. Não se pode estimar o que é normal e habitual, usando contagens de acidentes que são anormais ou incomuns. Se a entidade foi selecionada porque ele tinha um valor excepcionalmente alto do número de acidentes, a FMA tenderia a superestimar o número observado de acidentes de um período futuro (Hauer, 2004).

A FMA possui a vantagem de ser a medida mais simples, porém possui algumas limitações, tais como: não leva em consideração o fenômeno de regressão à média (FRM), não considera o volume de tráfego e não identifica locais com baixo número de colisões, nas quais simples intervenções baseadas no custo-benefício poderiam ser facilmente aplicadas.

No **Excesso Previsto na Frequência Média de Acidentes usando o Método dos Momentos** (EMM) a frequência média de acidentes observados é ajustada ($N_{observado,i} (ajustado)$) da seguinte maneira:

$$N_{observado,i} (ajustado) = N_{observado,i} + \frac{N_{observado,pr}}{Var(N)} \cdot (N_{observado,pr} - N_{observado,i}) \quad (1)$$

Onde o $N_{observado,pr}$ é a frequência média de acidentes para um determinada população de referência, i é o local e a $Var(N)$ é a variância da amostra. Para determinar o potencial de melhoramento se subtrai a frequência média de acidentes observados ajustada com a frequência média de acidentes para uma determinada população de referência.

Alguns pontos positivos do EMM podem ser percebidos pela sua própria formulação, tais como: considerar a variância dos dados e possuir um conceito similar ao método empírico de Bayes (EB). Outro ponto é o de que diferentes populações de referência podem ser unidas em uma única lista classificatória, isso porque cada população de referência é ajustada com base na média e na variância dos seus dados.

O FRM ainda pode estar presente nos resultados, já que o primeiro termo da equação 5 é a simples FMA. Outro ponto negativo é o de não levar em consideração o fluxo veicular.

As medidas que necessitam apenas dos dados de acidentes por tipo e por local são: Probabilidade de um tipo específico de acidente exceder um Limite de Proporção (ELP) e Excesso na proporção de Acidentes Específicos (EPAE).

A **Probabilidade de um tipo específico de acidente exceder um Limite de Proporção** (ELP) classifica locais de acordo com a probabilidade de que uma proporção verdadeira de um tipo específico de acidente, p_i , seja maior do que um limite de proporção, $p * i$. Esta probabilidade é calculada através da distribuição Beta que é usada frequentemente para modelar proporções pertencentes ao intervalo (0,1) e é uma distribuição de probabilidade contínua, cujos parâmetros são α e β .

Primeiramente, deve ser determinar qual tipo específico de acidentes será avaliado, ou seja, determinar o foco da análise, como foi descrito na seção de MIPC. O p_i é obtido pela razão entre o número de acidentes de um tipo específico em relação ao número total de acidentes de um determinado local. Já o $p * i$ é a razão entre o somatório de todos os

acidentes de um tipo específico em relação ao somatório do total de acidentes para uma determinada população de referência. Em seguida, calcula-se a variância da amostra (s^2) com o uso da seguinte equação:

$$Var(N) = \left(\frac{1}{n_{locais}-1} \right) \times \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{N_{observado,i}^2 - N_{observado,i}}{N_{observado,i}(total)^2 - N_{observado,i}(total)} \right) - \left(\frac{1}{n_{locais}} \right) \times \left(\sum_{i=1}^n \frac{N_{observado,i}}{N_{observado,i}(total)} \right) \right] \quad (2)$$

Em que, n_{locais} corresponde ao número total de locais da amostra, $N_{observado,i}$ ao número de acidentes de um tipo específico e $N_{observado,i}(total)$ ao número total de acidentes de um determinado local. Logo após, calcula-se a média amostral da proporção de acidentes de um tipo específico (\bar{p}^*_i), obtida pela razão do somatório de cada p_i em relação ao número total de locais. A partir disso, os parâmetros α e β são calculados da seguinte maneira:

$$\alpha = \frac{\bar{p}^{*i^2} - \bar{p}^{*i^3} - s^2(\bar{p}^*_i)}{Var(N)} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\alpha}{\bar{p}^*_i} - \alpha \quad (4)$$

A probabilidade de um tipo específico de acidente de um determinado local exceder a proporção média desses acidentes é obtida da seguinte maneira:

$$p \left(\frac{p_i > \bar{p}^*_i}{N_{observado,i}, N_{observado,i}(total)} \right) = 1 - betadist(p^*_i, \alpha + N_{observado,i}, \beta + N_{observado,i}(total) - N_{observado,i}) \quad (5)$$

A medida de desempenho ELP não está submetida ao efeito do FRM, devido ao uso da distribuição Beta. Os seus pontos negativos são não considerar o fluxo veicular e selecionar erroneamente locais como críticos devido a uma frequência não usual de um tipo específico de acidente.

O **Excesso na proporção de Acidentes Específicos** (EPAE) classifica os locais de acordo com a diferença entre a probabilidade de uma proporção de um tipo específico de acidente, p_i , e um limite de proporção, p^*_i . As vantagens e limitações são as mesmas da medida de desempenho ELP.

A **Taxa de Acidentes** (TAC) insere a variável volume de tráfego que é calculada como milhões de veículos entrantes (MVE) da seguinte maneira:

$$MVE = \frac{TVE}{10^6} \cdot n \cdot 365 \quad (6)$$

Onde, TVE representa o total de veículos que entram no dia e n o número de anos de dados de colisões. A taxa de acidentes é obtida pela razão entre o total de acidentes observados e o MVE de um determinado local.

A TAC apresenta algumas dificuldades, como o fato de que dois locais com diferentes volumes diários médios podem apresentar a mesma TAC. Além disso, sabe-se, através de dados empíricos, que a relação entre a FMA e o fluxo veicular não é linear (Hauer, 2002).

A TAC é uma medida que possui como vantagem a sua simplicidade. Porém, não leva em conta o FRM, comparações entre locais com fluxos veiculares significativamente diferentes não podem ser feitas e locais podem ser erroneamente priorizados devido ao baixo fluxo veicular ou a baixa FMA.

A **Taxa Crítica** (TCR) assume que a ocorrência de acidente em um determinado local da área urbana obedece a distribuição de Poisson com média igual a variância.

A TCR é comparada com a Taxa de Acidentes para cada local. Já com a taxa de acidentes calculada, obtêm-se a taxa de acidentes média ponderada para uma população de referência (TAC_p) da seguinte maneira:

$$TAC_p = \frac{\sum_{i=1} TVE \cdot TAC}{\sum_{i=1} TVE} \quad (7)$$

Por fim, a Taxa Crítica de Acidentes é obtida pela seguinte equação:

$$TCR = TAC_p + \left[P \cdot \sqrt{\frac{TAC_p}{MEV_i}} \right] + \left[\frac{1}{(2 \cdot MEV_i)} \right] \quad (8)$$

Os locais que possuírem sua TAC maior que a sua TCR serão destinados a revisões futuras. Pelo fato de ser comparada com a TAC de um determinado local, a medida TCR continua sem considerar o FRM.

A medida TCR reduz o efeito exagerado de locais com baixo fluxo veicular, pois considera para cada local uma TCR com base na população de referência e na exposição de cada local.

A **Unidade Padrão de Severidade** (UPS) é uma medida que necessita de dados de acidentes totais e por severidade de acidente. O método de agregação dos indicadores é baseado no custo por severidade do acidente e os pesos para cada indicador foram retirados do manual brasileiro PARE (MT, 2002), sendo equacionada da seguinte maneira:

$$\begin{aligned}
 UPS = & \textit{Acidentes somente com danos materiais} \times 1 + \textit{Acidentes com feridos} \times 4 + \\
 & \textit{Acidentes com feridos envolvendo pedestres} \times 6 + \\
 & \textit{Acidentes com vítimas fatais} \times 13.
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

As vantagens da medida UPS é a simplicidade e levar em conta a severidade dos acidentes. Porém, pode priorizar erroneamente locais com uma baixa frequência de acidentes de uma determinada severidade dependendo dos fatores de ponderação usados. Além disso, não leva em conta o FRM e nem o fluxo veicular.

As seguintes medidas precisam de um modelo de regressão para estimar o número de acidente: Nível de Serviço da Segurança (NSS), Excesso previsto na Frequência Média de Acidentes usando os MPA (EMPA), Frequência Média de Acidentes esperada usando o ajuste empírico de Bayes (EB), Excesso esperado na Frequência Média de Acidentes com ajuste empírico de Bayes (EEB) e Probabilidade de um local ser crítico pelo Modelo Binário (MB).

Para obter o **Nível de Serviço da Segurança (NSS)** os locais são classificados de acordo com a comparação da sua frequência de acidentes média observada ($N_{observado}$) com a frequência média prevista pelo modelo de previsão de acidentes (MPA). O grau de desvio médio (σ) da frequência média prevista do acidente é dividido em quatro classes de Nível de Serviço da Segurança (Tabela 2.1) e é calculado como segue:

$$\sigma = \sqrt{k \cdot MPA^2}
 \tag{10}$$

Tabela 2.1 -Categorias do Nível de Serviço da Segurança.

NSS	Condição	Descrição
I	$0 < N_{observado} < (MPA - 1,5 \times (\sigma))$	Indica um baixo potencial na redução de acidentes
II	$(MPA - 1,5 \times (\sigma)) \leq N_{observado} < MPA$	Indica um potencial entre baixo e moderado na redução de acidentes
III	$MPA \leq N_{observado} < (MPA + 1,5 \times (\sigma))$	Indica um potencial moderado na redução de acidentes
IV	$N_{observado} \geq (MPA + 1,5 \times (\sigma))$	Indica um alto potencial na redução de acidentes

Fonte: (AASTHO, 2010).

De acordo com a Tabela 2.1, nota-se que os limites dos intervalos são comparados com a FMA e por isso o FRM ainda está presente nos resultados. Considerar a variância dos dados e o fluxo veicular são algumas das suas vantagens.

O **Excesso Previsto na Frequência Média de Acidentes** usando o Modelo de Previsão de Acidentes (EMPA) é a diferença entre a frequência média de acidentes observados e a frequência média de acidentes previstos pelo MPA. Esta medida não leva em conta o FRM pelos mesmos motivos da medida NSS.

A **Probabilidade de um local ser crítico pelo Modelo Binário** (MB) aplica-se quando a variável de resposta tem dois resultados possíveis. Assim, a variável dependente de categoria $Y=0$ identifica locais seguros e a categoria $Y=1$ identifica um local como ponto crítico.

Os locais críticos são identificados considerando um valor de número observado de acidentes limite acima do qual se considera o local como crítico. Por isso, esta medida de desempenho ainda possui o FRM presente nos seus dados. Nos modelos de resposta qualitativa como é o modelo binário, a regressão latente reflete uma variável não observada y^* , obtida por:

$$y^* = x\beta + \epsilon \quad (11)$$

O modelo binário é construído a partir de uma regressão latente em que um conjunto de variáveis independentes x explica a decisão entre as duas alternativas, e os respectivos parâmetros β refletem o impacto na probabilidade das variações dos valores de x (Greene, 2008). O termo de erro aleatório não observado ϵ , no caso do modelo probit, segue uma distribuição normal com média zero e variância um. A variável observada é y , tal que:

$$y = 1 \text{ se } y^* > 0, \quad (12)$$

$$y = 0 \text{ se } y^* \leq 0. \quad (13)$$

Alguns estudos comparativos de medidas de desempenho apresentam o **Método Empírico de Bayes** (EB) como sendo o de melhor desempenho e mais consistente (Elvik, 2008; Montella, 2010). De acordo com Hauer *et al.* (2002) a aplicação do método empírico de Bayes aumenta a precisão das estimativas e incorpora o FRM através do reconhecimento de que a frequência observada de acidentes não é a única informação sobre o desempenho da

segurança viária da entidade, mas também o conhecimento da segurança em entidades similares. Assim estas duas informações são ponderadas em conjunto da seguinte maneira:

$$E\{\kappa|K\} = \alpha E\{\kappa\} + (1 - \alpha)K \quad (14)$$

Em que, $E\{\kappa|K\}$ é o valor “esperado” do número de acidentes (κ) para a entidade de interesse (sabendo que a entidade apresentou K acidentes em um certo período) e α corresponde ao peso (valor entre 0 e 1). $E\{\kappa\}$ indica o número médio previsto de acidentes em entidades similares (população de referência) e K o número de acidentes observados na entidade. Ressalta-se que $E\{K\}$ é estimado com o emprego de modelos de previsão de acidentes (MPA) os quais deverão ser desenvolvidos para as entidades de interesse. Dessa maneira, o EB não é influenciado pelo FRM.

O MPA além de ser um dado necessário à estimação do EB é também uma medida de desempenho. É representado por uma equação de regressão que estima a frequência média dos acidentes para um local específico em função do volume diário médio anual (VDMA) e, no caso de segmentos de rodovia, em função do comprimento do segmento (AASHTO, 2010).

Dentre as medidas propostas pelo HSM, uma apresentou mais vantagens e menos limitações em relação às demais medidas, incluindo o método EB, sendo ela o excesso na frequência média de acidentes esperados com o ajuste EB (EEB).

A diferença entre a frequência média de acidentes ajustada pelo método EB e frequência média de acidentes previstos a partir de um MPA é o **excesso na frequência média de acidentes esperados com o ajuste EB** (EEB). Quando o excesso na frequência média de acidentes esperados é maior do que zero, o local possui mais acidentes do que o previsto. Quando este excesso for menor, o local possui menos acidentes do que o previsto (AASHTO, 2010).

A **frequência média de acidentes UPS com ajuste EB** (UPS –EB) irá estimar a frequência esperada de acidentes através do EB e depois converter os resultados usando a ponderação do UPS. Aplicam-se as equações 2 e 8 para todos os tipos de severidade de acidentes. Em seguida, calcula-se o fator de ponderação para acidentes com vítimas fatais e feridas da seguinte maneira:

$$w_{UPS,FL} = P_f \cdot f_{fatais} + P_L \cdot f_{lesões} \quad (15)$$

Onde P_f e P_L são a proporção de acidentes observados com vítimas fatais e com lesões, respectivamente, em uma população de referência de vítimas fatais e feridas. Enquanto que

f_{fatais} e $f_{lesões}$ são os fatores de ponderação UPS para vítimas fatais e com lesões. Por fim, é calculada a UPS-EB ponderando com o fator acima calculado a frequência esperada de acidentes com vítimas fatais e feridas ($N_{esperado(FL)}$) e somando a frequência esperada de acidentes sem vítimas ($N_{esperado,n(sv)}$) da seguinte forma:

$$N_{esperado(UPS)} = N_{esperado,n(sv)} + w_{UPS,FL} \cdot N_{esperado(FL)} \quad (16)$$

A medida UPS- EB leva em conta o FRM e a severidade dos acidentes, porém pode priorizar erroneamente locais com baixo número de um tipo específico de severidade dependendo dos fatores de ponderação usados.

2.1.4 Elementos necessários à estimação das medidas de desempenho

A implementação do HSM enfrenta barreiras significativas em muitos departamentos, onde não se possui a diversidade de dados exigidos para a aplicação de medidas de desempenho mais robustas (Sun, 2011; Alluri, 2015; Jalayer *et al.*, 2015).

A disponibilidade dos elementos necessários à estimação das medidas de desempenho limita a escolha de um MIPC. A Tabela 2.2 apresenta as medidas de desempenho, os elementos necessários a sua estimação e quais delas estão contempladas pelos manuais brasileiros. Dentre as medidas de desempenho apresentadas, as seguintes estão disponíveis nos manuais brasileiros: FMA, TAC e UPS.

Para aplicar o EEB, indicador sugerido pelo HSM, cada jurisdição deve possuir modelos de previsão de acidentes calibrados para cada ano em estudo, que exigem dados detalhados sobre atributos de rodovias, volumes de tráfego, e por vezes informações sobre acidentes, não só em frequência, mas também por tipo e gravidade (Sun, 2011).

O modelo de previsão de acidentes desenvolvido pelo HSM foi baseado em dados de um subconjunto de estados, podendo haver características locais que resultem em valores previstos significativamente diferentes. Cada jurisdição pode possuir diferenças quanto ao limiar de identificação de pontos críticos, clima, relevo ou presença de animais na estrada que possam contribuir para os acidentes locais. Com isso, o HSM recomenda que as agências locais desenvolvam os seus próprios MPA (Xie *et al.*, 2011).

Tabela 2.2 - Medidas de Desempenho propostas pelos manuais de segurança viária.

Medida de Desempenho	FMA e EMM	ELP e EPAE	TAC,TCR	UPS	NSS, EMPA, EB, EEB e MB	UPS - EB
Dados de acidentes por local e por data	x		x	x	x	
Volume de Tráfego			x		x	x
Dados de acidentes por severidade e por local				x		x
Dados de acidente por tipo de acidente e por local		x				
Método de Agregação de Indicadores				x		x
Características geométricas e operacionais da via e Modelo de Regressão					x	x

Devido a complexidade do desenvolvimento de modelos de previsão de acidentes pela comunidade técnica, dificilmente existirá um MPA para cada ano necessário ao estudo, sendo necessários assim verificar quais variações temporais poderiam implicar na aplicação de um modelo calibrado para o ano base. Geralmente, os MPAs possuem como variável explicativa o volume de tráfego, contemplado assim o possível crescimento do tráfego. Variações não contempladas pelo modelo invalidam o seu uso em diferentes anos, como por exemplo, uma mudança no comportamento dos condutores devido a campanhas públicas.

Os atributos da rodovia utilizados para estimar as medidas de desempenho são aqueles em que o modelador acredita ser um termo explicativo da variável resposta e que estejam disponíveis nos bancos de dados. Alguns exemplos são o número total de faixas ,tipo de controle semaforico e número de ramos. Aqueles locais com presença de semáforo podem gerar maiores colisões traseiras. Segundo Cunto *et al.* (2012), acredita-se que a variável número total de faixas aumente a frequência de avanços de semáforo (colisões transversais) e frequência de mudanças de faixas (colisões laterais) e uma via com maior número de ramos pode gerar maior interação entre os veículos.

O volume de tráfego é uma variável de exposição fundamental, quanto maior a exposição dos veículos mais chances de ocorrerem os acidentes, isto é, sem tráfego não há acidentes (Couto e Ferreira, 2012). Volume de tráfego é definido como o número de veículos que passam em um ponto da rodovia, ou em uma dada faixa ou direção da rodovia, durante um intervalo de tempo específico. O volume usado na estimação das medidas de desempenho é o volume diário médio anual (VDMA), o VDMA é o volume de veículos que passa em um dado local durante um ano dividido pelos 365 dias desse ano (366 em anos bissextos) (Roess *et al.*, 2011).

Devido à carência dos bancos de dados brasileiros, nem sempre as informações de fluxo veicular estão disponíveis, tendo, por vezes, apenas contagens horárias de fluxo. Diante disso, são usados fatores de expansão gerados a partir de uma base histórica, onde os valores de fluxo horário, semanal ou mensal serão usados para estimar o VDMA de um determinado local (Oliveira, 2004).

Quando não se possui nenhum dado de fluxo de um determinado ano para um local específico, projeta-se o fluxo de anos anteriores conhecidos. A projeção do fluxo veicular basear-se-á em taxas de crescimento do tráfego e no conhecimento de eventuais alterações previstas para o sistema de transporte regional. As taxas de crescimento do tráfego poderão tanto se fundamentar nas eventuais séries históricas existentes como na dos dados socioeconômicos regionais. Além disso, o comportamento do tráfego é normalmente influenciado por variações sazonais, o que torna equivocado o uso de resultados de contagens de curta duração sem a prévia correção sazonal (DNIT, 2006).

Miranda-Moreno (2006) define um acidente de trânsito como um evento envolvendo veículos a motor causando danos aos veículos, à infraestrutura e / ou as pessoas. Um acidente de trânsito é o resultado de um violento impacto de um veículo em movimento com um objeto, uma colisão entre dois veículos, ou um veículo e uma pessoa.

Outra definição para acidentes é a de que são eventos raros e aleatórios. Por raro, está implícito que os acidentes representam apenas uma proporção muito pequena de o número total de eventos que ocorrem no sistema de transporte. Aleatório significa que acidentes ocorrem como função de um conjunto de eventos influenciados por vários fatores, os quais são em parte determinísticos (que pode ser controlado) e parcialmente estocásticos (aleatório e imprevisível) (AASHTO, 2010).

2.2. Metodologias de comparação entre MIPC

Diante dos diversos métodos disponíveis para identificação de pontos críticos, surgiram estudos para auxiliar os profissionais da segurança viária na escolha de um método a ser aplicado na sua jurisdição.

Elvik (2008) compara cinco medidas de desempenho para identificação de pontos críticos usando dados de acidentes das rodovias Norueguesas. As medidas de desempenho comparadas foram: frequência média de acidentes, taxa de acidentes, combinação da frequência e taxa de acidentes, método empírico de Bayes e critério de dispersão do método empírico de Bayes. O método de comparação entre as medidas foi feita a partir de critérios epidemiológicos de sensibilidade e especificidade.

A sensibilidade e a especificidade correspondem à proporção de locais que foram identificados corretamente como críticos e não críticos, respectivamente. A medida de desempenho que possui um bom resultado identifica o maior número possível de locais verdadeiramente críticos (sensibilidade), enquanto ao mesmo tempo identifica como não críticos um grande número de locais que realmente não são perigosos (especificidade).

Os dados utilizados foram de dois períodos de quatro anos. As medidas de desempenho foram aplicadas para os primeiros quatro anos (1997 a 2000) de maneira acumulada. Para identificar falsos positivos e falsos negativos, os dados do segundo período de tempo de quatro anos foram utilizados (2001 a 2004). Assim, os verdadeiros positivos serão aqueles locais que possuem um maior potencial da redução de acidentes em ambos os períodos de tempo. Já os falsos positivos irão regredir a média no segundo período de tempo. Haverá também os falsos negativos que são aqueles que foram detectados como não críticos nos primeiros quatro anos, mas foram detectados como críticos nos quatro anos seguintes. De acordo com os critérios epidemiológicos aplicados o método empírico de Bayes obteve o melhor desempenho, seguido da frequência média de acidentes e da combinação da frequência e da taxa de acidentes. Quanto ao resultado da especificidade a maioria das medidas não variou muito, conseguindo identificar em torno de 90% dos verdadeiros negativos. Já para a especificidade, o EB identificou 70% dos verdadeiros positivos, a frequência média de acidentes e a combinação da frequência e da taxa de acidentes identificaram 50%. As demais medidas obtiveram resultados de especificidade abaixo de 40%.

Ferreira e Couto (2012) também utilizaram critérios epidemiológicos para comparar medidas de desempenho, ou seja, critérios baseados em falsos negativos e falsos

positivos. Além da sensibilidade e especificidade usadas por Elvik (2008), foram também aplicadas as seguintes medidas de comparação: taxa de falsos identificados, taxa de falsos negativos e risco. A taxa de falsos positivos identificados é a proporção entre número de falsos positivos (Erro Tipo I) e os locais identificados como críticos. A taxa de falsos negativos corresponde a relação entre número de falsos negativos (Erro do Tipo II) e os locais identificados como não críticos. O risco corresponde à proporção do total de erros (Tipo I e II) e o número de locais em análise.

Estes testes foram aplicados para comparar a medida de desempenho probabilidade de um local ser identificado como crítico pelo modelo binário com outras duas medidas de desempenho, sendo elas: frequência média de acidentes e método empírico de Bayes. Desta análise, verificou-se que a nova medida proposta tem claramente melhor desempenho.

Os dados utilizados neste estudo são relativos a acidentes ocorridos em interseções da cidade do Porto de três e quatro ramos, e com ou sem sinalização luminosa, registrados ao longo de um período de cinco anos (Janeiro de 2001 a Dezembro de 2005). Os locais verdadeiramente críticos foram definidos como aqueles locais gerados a partir de uma base de dados simulada que possuíam uma frequência média de acidentes acima do 95º percentil. Ao aplicar os testes citados acima levando em conta que os verdadeiros positivos são obtidos pela frequência média de acidentes, e esta sofre influência do FRM, tal critério pode ter comprometido os resultados.

De acordo com Cheng e Washington (2008), os critérios de comparação baseados em falsos positivos e falsos negativos não são suficientes para explorar as variações na priorização dos locais críticos. Isso porque esses critérios não levam em conta a posição dos locais nas listas classificatórias. Os três testes desenvolvidos por Cheng e Washington (2008), se baseiam na premissa de que a homogeneidade da via e o desempenho esperado da segurança se preservam temporalmente. Estes testes foram usados para comparar as seguintes medidas de desempenho: FMA, TAC, EB e EEB. A comparação temporal foi feita com dados de acidentes do estado do Arizona em dois períodos de tempo. O primeiro período de tempo é o ano de 2000, onde se calculam as medidas de desempenho a serem comparadas. O segundo período de tempo corresponde a uma média da frequência de acidentes dos períodos 2001 e 2002. Os locais verdadeiramente críticos eram aqueles com a maior FMA no segundo período de tempo. A medida EB apresentou o melhor desempenho, seguida de maneira muito próxima

pela FMA, ou seja, essas duas medidas identificaram melhor os locais verdadeiramente críticos ao longo do tempo. A TAC obteve o pior desempenho.

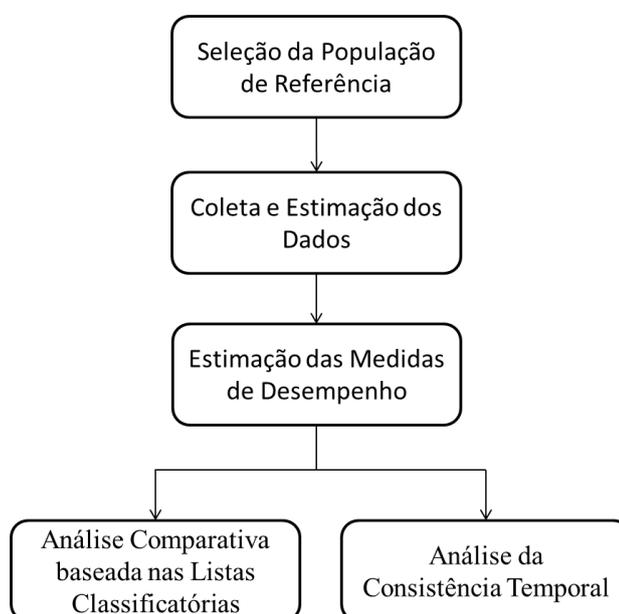
Montella (2010) desenvolveu um índice único combinando os testes propostos por Cheng e Washington (2008), tornando a avaliação de um determinado método mais prática através da obtenção de uma eficácia média relativa. A eficácia média relativa é estimada a partir da composição das eficácias absolutas de cada teste proposto por Cheng e Washington (2008), sendo elas ponderadas pelos valores máximos e mínimos dos testes. Este teste busca avaliar se as medidas de desempenho do primeiro período conseguem identificar os locais com uma alta frequência de acidentes em um período subsequente de tempo. Tal índice será adaptado para o presente trabalho como método de comparação, sendo descrito na metodologia do presente trabalho. Quanto mais próximo de 100 melhor a medida de desempenho. Dentre as medidas comparadas por Montella (2010), o EB obteve o melhor desempenho, 98, seguido pela FMA e a TAC, que obtiveram os valores 88 e 83, respectivamente.

Ferreira e Martins (2014) compararam o modelo binário proposto por Ferreira e Couto (2012) com outros MIPC aplicando os testes de consistência temporais abordados por Cheng e Washington (2008) e Montella (2010). Para uma amostra total de interseções (sem população de referência), ou seja, um conjunto de interseções independente das suas características geométricas e operacionais foi obtido como resultando que o modelo binário possui melhor desempenho. Enquanto que para uma amostra de interseções com sinais luminosos, o método EEB foi mais eficiente.

3. METODOLOGIA

A abordagem metodológica utilizada para alcançar o objetivo geral proposto nesta pesquisa pode ser dividida em cinco etapas, a saber: (i) seleção da população de referência, (ii) coleta e estimação dos dados, (iii) estimação das medidas de desempenho, (iv) análise comparativa baseada nas listas classificatórias e análise da consistência temporal. A aplicação e avaliação do método proposto serão através de um estudo de caso para interseções semaforizadas de Fortaleza/CE.

Figura 3.1 - Fluxograma das etapas metodológicas para comparação de medidas de desempenho.



Fonte: O autor.

3.1 Seleção da população de referência

Um local pode apresentar um valor substancialmente maior da frequência de acidentes em relação a outros locais simplesmente devido as suas características geométricas. Assim, é necessário definir uma amostra com características em comum, ou seja, definir uma população de referência.

A população de referência corresponde a um grupo de locais que compartilham o mesmo conjunto de características de uma determinada entidade que se têm interesse em avaliar (Hauer, 2002; AASTHO, 2010).

O interesse do presente estudo está em locais com maior disponibilidade de informações, sendo assim possível uma maior amostra para aplicação das medidas de desempenho. Compreende-se que os locais com maiores chances de acidentes são as interseções, pois nelas ocorrem mais interações entre os usuários do sistema viário.

Para este estudo, as características em comum dos locais são os seus atributos geométricos e o período em que os dados necessários à estimação das medidas de desempenho serão coletados. Os anos selecionados para implementar as medidas de desempenho devem ser aqueles em que os estados operacionais da via estão nas mesmas ou semelhantes condições.

3.2 Coleta e estimativa de dados

Nesta etapa é realizada uma busca das variáveis necessárias à estimação das medidas de desempenho nos bancos de dados disponíveis. Pela revisão da literatura, sabe-se que as variáveis necessárias para a aplicação das medidas deste trabalho são: número observado de acidentes, volume diário médio anual (VDMA), número de faixas da interseção e modelos de previsão de acidentes.

Os dados de acidentes foram coletados a partir do Sistema de Informações de Acidentes de Trânsito de Fortaleza (SIAT-FOR). O SIAT-FOR é um banco de dados informatizado e georreferenciado que compila os acidentes de trânsito registrado por 10 órgãos responsáveis pelo atendimento às ocorrências de trânsito do município de Fortaleza desde o ano de 2000.

Dentre as informações disponíveis no SIAT-FOR destacam-se: data, hora, coordenadas do local, tipo do acidente, veículos envolvidos, severidade do acidente, além de informações sobre as vítimas como gênero, idade, tipo (condutor, passageiro, pedestre, ciclista, etc) (Cunto *et al.*, 2012).

Neste trabalho essas informações foram agregadas de acordo com as seguintes categorias de severidade: acidentes somente com danos materiais, acidentes envolvendo pedestres, acidente com feridos (sem pedestre) e acidentes envolvendo vítimas fatais.

O volume diário médio anual (VDMA) foi estimado usando dados de fluxo veicular proveniente do CTAFOR (Controle de Tráfego em Área de Fortaleza) cujo controle de tráfego é feito pelo sistema SCOOT (Split Cycle Offset Optimization Technique). Estes dados estão disponíveis no relatório semestral de andamento para execução do projeto “Modelagem no Apoio à Decisão no Planejamento, Operação e Gestão dos Sistemas de

Transporte Público e de Circulação Viária de Fortaleza” (ASTEFL, 2015). Deste relatório foram usados os seguintes dados: fluxo veicular por dia da semana, volumes diários médios mensais (VDMM) e fatores de expansão diários e mensais. Tais fatores estão presentes no ANEXO A.

Para os laços indutores que apresentaram dados de VDMM foram usados os fatores de expansão mensais para obter o VDMA. Os laços que possuíam apenas dados por dia da semana foram usados os fatores de expansão diários. Se houvessem dois dias disponíveis, por exemplo, o VDMA para cada dia era calculado com base no fator de expansão diário e depois era retirada a média, obtendo assim um único VDMA para o laço.

Após calcular o VDMA dos laços, os mesmos foram somados para formar o VDMA das interseções. Três problemas foram notados em 30 locais da amostra de 106 interseções, sendo eles: locais com um ano sem informações válidas (Erro Tipo I), locais com dois anos sem informações válidas (Erro Tipo II) e locais sem nenhuma informação de fluxo para os três anos em estudo (Erro Tipo III). As informações ditas como válidas foram aquelas que apresentaram dados de volume diário médio anual (VDMA) para todos os laços existentes nas aproximações das interseções.

Para estimar os dados faltosos foi calculada uma taxa média de crescimento anual do VDMA (TMCA) a partir dos laços com informações válidas. Esta taxa corresponde a um somatório do ajuste anual do fluxo veicular em porcentagem, positivo ou negativo, para um cada laço com anos válidos. Podendo ser equacionado da seguinte maneira:

$$TMCA = \Sigma \frac{VDMA_j - VDMA_i}{VDMA_i} \% \quad (17)$$

Em que, $VDMA_j$ corresponde ao VDMA do ano que se busca projetar o fluxo veicular de um determinado laço, ou seja, o ano com dados faltosos e o $VDMA_i$ é o VDMA do ano válido de um determinado laço.

Para o Erro Tipo I foi calculado o TMCA para os dois anos válidos e feita uma média com os valores de TMCA obtidos. Para o Erro Tipo II foi usado a TMCA do único ano disponível para obter o VDMA dos outros dois anos. Para estimar o VDMA dos locais com Erro Tipo III foram usados os dados de fluxo veicular do ano de 2013.

O modelo de previsão de acidentes usado para estimativa das medidas de desempenho foi o proposto por Cunto *et al.* (2012), como segue:

$$MPA = 0,00591 \cdot (vdma_{09}^{0,52}) \cdot e^{0,28 nfx} \quad (18)$$

Onde, MPA corresponde ao número esperado de acidentes, $vdma_{09}$ ao volume diário médio anual do ano de 2009 e nfx ao número de faixas. O MPA foi calibrado para o ano de 2009 e foi levado em conta que as características que poderiam interferir na frequência de acidentes esperada não variaram para os anos em estudo.

3.3 Estimação das Medidas de Desempenho

As medidas de desempenho avaliadas neste estudo foram selecionadas com base em dois critérios: disponibilidade de dados e a possibilidade de produzir análises comparativas baseadas nas listas classificatórias produzidas pelas diferentes medidas de desempenho. A lista classificatória ocorre quando a medida de desempenho consegue gerar uma lista com todos os locais, do mais crítico até o menos crítico.

Tabela 3.1 - Medidas de desempenho que geram listas classificatórias ou um valor limite.

Medida de Desempenho	Definição de Pontos Críticos
Frequência Média de Acidentes (FMA)	Listas Classificatórias
Taxa de Acidentes (TAC)	Listas Classificatórias
Unidade Padrão de Severidade (UPS)	Listas Classificatórias
Índice Relativo de Severidade (IRS)	Valor Limite
Taxa Crítica (TCR)	Valor Limite
Excesso Previsto na Frequência Média de Acidentes usando o Método dos Momentos (EMM)	Listas Classificatórias
Nível de Serviço da Segurança (NSS)	Listas Classificatórias
Excesso Previsto na Frequência Média de Acidentes usando os Modelos de Previsão de Acidentes (EMPA)	Listas Classificatórias
Probabilidade de um tipo específico de acidentes exceder um Limite de Proporção (ELP)	Listas Classificatórias
Excesso na proporção de Acidentes Específicos (EPAE)	Listas Classificatórias
Frequência Média de Acidentes esperada usando o ajuste EB (EB)	Listas Classificatórias
Frequência Média de Acidentes UPS com ajuste EB (UPS - EB)	Listas Classificatórias
Excesso esperado na Frequência Média de Acidentes com ajuste EB (EEB)	Listas Classificatórias
Probabilidade de um local ser crítico pelo Modelo Binário (MB)	Listas Classificatórias e Valor Limite

Algumas medidas de desempenho definem um valor limite, onde apenas aqueles locais em que a medida de desempenho obtiver um valor acima do limite serão listados como críticos. A Tabela 3.1 apresenta as medidas de desempenho que geram listas classificatórias ou um valor limite.

Um primeiro critério para que as listas classificatórias possam ser comparadas entre si é que as medidas de desempenho a serem avaliadas devem reproduzir uma frequência de acidentes do mesmo tipo e severidade. A presente análise utiliza medidas de desempenho que estimam os valores em termos de acidentes totais e para todos os tipos de colisão. Outro critério para comparação é que as medidas de desempenho possam classificar todos os locais do maior para o menor valor.

3.4 Análise comparativa das medidas de desempenho

Para a análise comparativa entre as medidas de desempenho serão usadas as seguintes abordagens: (i) baseada nas diferenças entre as listas classificatórias e (ii) baseada na consistência temporal. As abordagens buscam comparar uma medida de desempenho que se deseja avaliar em relação a uma medida de referência, essa medida de referência será aquela que possui a melhor capacidade de estimar os locais com maior potencial na redução de acidentes. Ou seja, a medida de referência é aquela que possui a maior capacidade de identificar verdadeiros positivos e é também aquela que incorpora melhor, por meio da sua formulação, o fenômeno acidente de trânsito.

A primeira abordagem busca verificar a diferença quantitativa entre as posições dos locais de uma medida de desempenho que se busca avaliar e as posições dos locais de uma medida de referência. A posição do local é obtida pelas listas classificatórias geradas pelas medidas de desempenho. A importância de se avaliar as medidas baseada na diferença entre as listas classificatórias está no fato de observar se medidas menos complexas irão classificar os locais verdadeiramente críticos em posições muito diferentes das obtidas pela medida de referência.

A segunda abordagem busca avaliar a consistência temporal de uma determinada medida de desempenho através de dois períodos subsequentes de tempo. O primeiro período é obtido através da aplicação de uma medida de desempenho que se busca avaliar em um determinado ano gerando a lista classificatória daquele ano. Os locais verdadeiramente críticos serão aqueles que em um ano subsequente (segundo período) são identificados como mais críticos pela medida de referência. Uma boa medida é aquela que consegue identificar os

locais verdadeiramente críticos no primeiro período de tempo. A importância desta abordagem está na avaliação de quais medidas identificam um maior número de locais verdadeiramente críticos e quais possuem menor variação das listas classificatórias em relação a medida de referência ao longo dos anos.

3.4.1 Análise Comparativa baseada nas Listas Classificatórias

Após a estimativa das medidas de desempenho escolhidas são construídas as listas classificatórias para cada uma delas. As listas de pontos críticos são um passo importante do MIPC. As posições podem variar significativamente dependendo da medida de desempenho empregada.

Buscando comparar a diferença das posições de um determinado local nas listas classificatórias serão feitas as seguintes avaliações: (i) a raiz do erro médio quadrático (REMQ), (ii) a diferença entre as posições da lista (DPL) e (iii) o número de locais identificados como críticos (NLIC).

Inicialmente, as medidas de desempenho serão avaliadas de acordo com a diferença média entre as posições geradas pelo EEB e pela medida avaliada, respectivamente, usando a raiz do erro médio quadrático (Hollander and Liu, 2008), podendo ser equacionada da seguinte maneira:

$$REMQ = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2} \quad (19)$$

Em que, REMQ corresponde à raiz do erro médio quadrático, x_i indica a posição na lista da medida de referência e y_i representa a posição na lista da medida de desempenho que se deseja comparar. A análise é dividida em blocos de 10 posições de modo que a primeira posição corresponde ao local mais crítico obtido pela medida de referência e assim consecutivamente. Quanto menor o REMQ, mais próximo a medida em estudo estará da medida de referência.

Em seguida, irá se aplicar a avaliação da diferença entre as posições da lista (DPL) como segue:

$$DPL = x_i - y_i \quad (20)$$

Análises do DPL serão realizadas através da plotagem de gráficos onde as medidas de desempenho são comparadas com o EEB. O DPL é calculado para cada local e quantifica a diferença entre a posição determinada pela medida a ser avaliada (x_i) e a medida de referência (y_i). Quanto menor o DPL, menor a diferença entre as posições das listas geradas pelas diferentes medidas de desempenho.

Por fim, será aplicada a avaliação do número de locais identificados como críticos (NLIC). É feita uma lista com os 20 locais mais críticos definidos pela medida de referência. O NLIC corresponde quantos destes 20 locais as demais medidas conseguiram identificar como críticos. Quanto maior o NLIC de uma determinada medida maiores as similaridades na identificação do mesmo grupo de pontos críticos pela medida de referência.

3.4.2 Análise Comparativa baseada na Consistência Temporal

O teste temporal adaptado de Montella (2010) une em um único índice os três testes temporais propostos por Cheng e Washington (2008). Para avaliar a consistência ao longo do tempo são usados dois períodos subsequentes. No primeiro e segundo período são calculadas a medida em análise e a medida de referência, respectivamente. O primeiro período de tempo (τ_1) corresponde ao ano mais antigo do conjunto de anos disponíveis para estudo. O segundo período de tempo (τ_2) pode ser obtido através de uma média dos anos posteriores ao ano do primeiro período de tempo ou simplesmente ser usado um ano posterior.

Para o primeiro teste (T1) é feita a lista classificatória da medida em análise para τ_1 , identificando-se os locais obtidos como críticos. Para cada um destes locais é calculada a medida de referência para τ_2 . O resultado do primeiro teste corresponde ao somatório dos valores obtidos pela medida de referência em τ_2 . Aplicando-se o teste ao conjunto disponível de medidas de desempenho, a melhor medida será aquela que obtiver o maior somatório.

Para o segundo teste (T2), inicialmente é feita a lista classificatória em τ_2 e selecionados os “locais verdadeiramente críticos” pela medida de referência. Calcula-se então a medida em análise para τ_1 produzindo sua lista classificatória e seus locais críticos. O resultado deste teste é o número de “locais verdadeiramente críticos” identificados em τ_1 pela medida em estudo. A melhor medida de desempenho é aquela que obtiver o maior valor.

Para o terceiro teste (T3) é calculada a princípio, a lista classificatória em τ_1 para medida que se busca avaliar. Em seguida, é calculada a lista classificatória em τ_2 para a

medida de referência. O valor deste teste corresponde ao somatório da diferença em módulo nas posições das listas classificatórias obtidas pela medida que se busca avaliar e a medida de referência. A melhor medida de desempenho é aquela que obtém o menor valor. A formulação do índice proposto por Montella (2010) é a seguinte:

$$\text{Índice}_j = \frac{100}{3} \times \left[\left(\frac{T1_j}{\max_j T1} \right) + \left(\frac{T2_j}{\max_j T2} \right) + \left(1 - \frac{T3_j - \min_j T3}{\max_j T3} \right) \right] \quad (21)$$

Em que, j corresponde a medida de desempenho que se busca avaliar, \max e \min correspondem ao maior e menor valor obtido em um determinado teste, respectivamente. Quanto mais próximo de 100 for o valor do índice, melhor será a medida de desempenho.

4. ANÁLISE DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO ESTIMADAS PARA A ÁREA URBANA DE FORTALEZA

Este capítulo apresenta os resultados do processo metodológico sugerido nesta dissertação. O capítulo é iniciado com uma apresentação dos critérios usados para selecionar a amostra usada no estudo de caso. Em seguida, descrevem-se os bancos de dados usados e o processo para estimar dados faltosos de fluxo veicular. Além disso, também é descrito o modelo de previsão de acidentes necessário à estimação de medidas mais complexas. Por fim, são discutidas quais medidas serão estimadas com base em critérios definidos na metodologia.

A partir da estimativa das medidas de desempenho é feita uma análise comparativa das mesmas. A análise foi baseada nas diferenças entre as listas classificatórias e na consistência na identificação de locais verdadeiramente críticos ao longo do tempo. A partir da revisão da literatura sobre os métodos de comparação das medidas de desempenho, o índice proposto por Montella (2010) foi adaptado para a análise temporal da presente dissertação.

4.1 Seleção da População de Referência

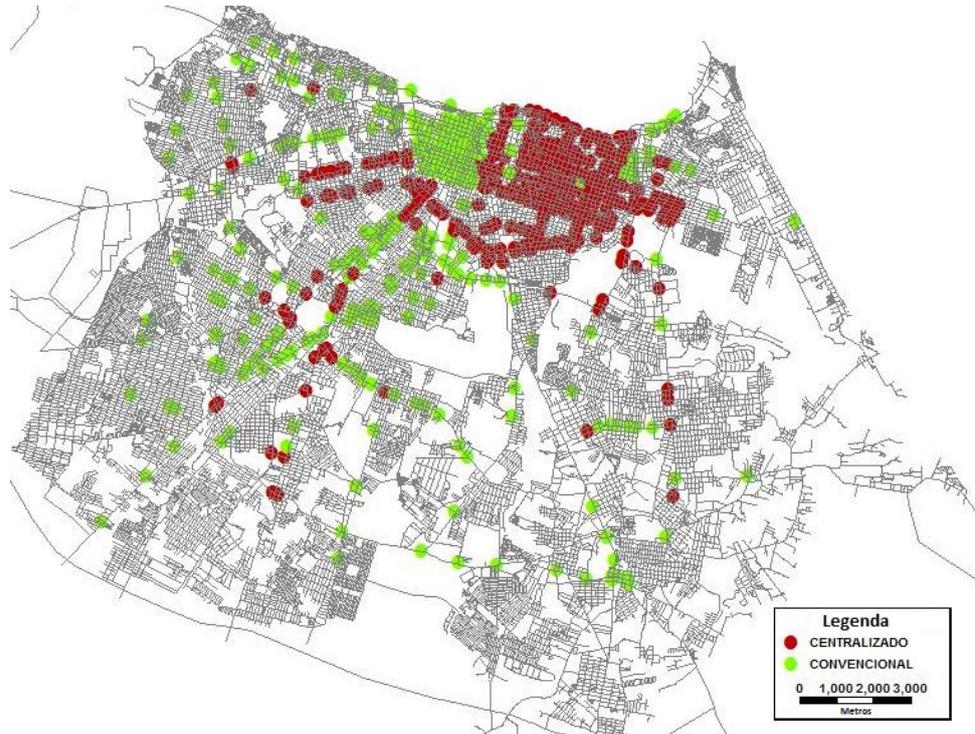
Como abordado no método a população de referência são interseções por possuírem uma maior chance de ocorrência de acidentes. Diante do interesse do presente estudo, os seguintes critérios serão utilizados para a seleção de uma população de referência: data da implantação do semáforo, disponibilidade de informações sobre o fluxo de veículos, o número e a configuração geométrica dos ramos.

Devido a disponibilidade de dados de fluxo veicular, as interseções usadas no estudo de caso são as semaforizadas. Existem cerca de 700 interseções semaforizadas na cidade de Fortaleza (Figura 4.1). Em torno de 500 interseções são centralizadas, ou seja, possuem um controle de tráfego feito pelo sistema SCOOT (Split Cycle Offset Optimization Technique), este por sua vez, possui dados de fluxo veicular coletados em campo por laços detectores. As demais interseções são convencionais, não possuindo dados de fluxo veicular.

A amostra utilizada neste estudo corresponde a um conjunto de interseções semaforizadas com quatro ramos, ângulo entre as interseções maiores que 70°, espaçamentos maiores que 50 metros entre os cruzamentos e implantação do semáforo até junho de 2008. A Figura 4.2 mostra um exemplo de interseção atípica removida do estudo. O período de estudo foram os anos 2009, 2010 e 2011. Existem cerca de 400 interseções centralizadas implantadas

até junho de 2008. Aplicando os demais critérios para definir a população de referência o conjunto de interseções reduz para 134 interseções. Das 134 interseções, apenas 106 possuíam algum dado de fluxo veicular, assim compondo a amostra do presente estudo (Figura 4.3).

Figura 4.1 -Localização dos semáforos na área urbana de Fortaleza.



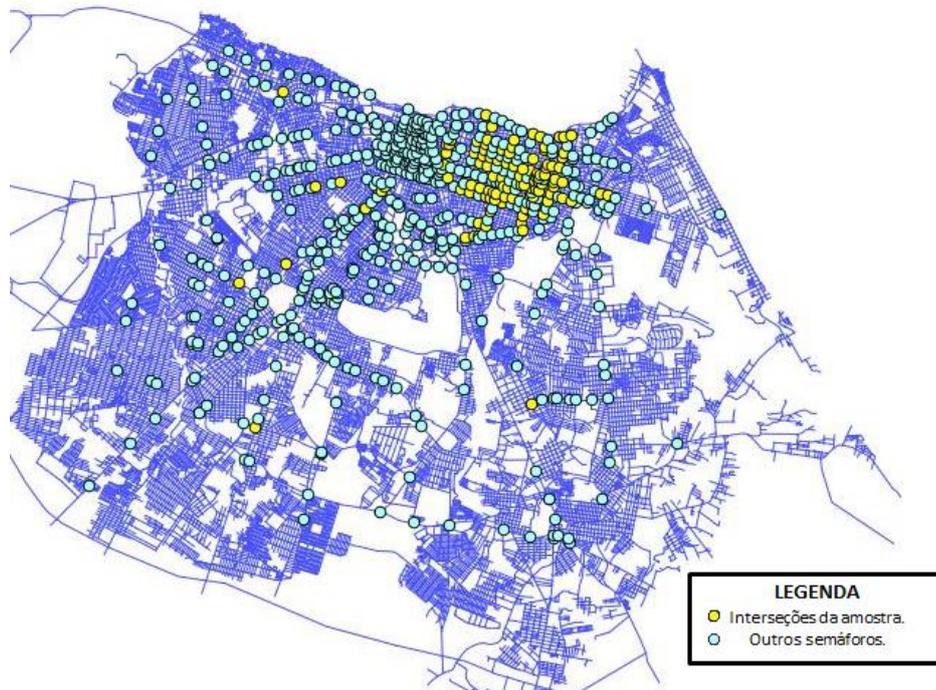
Fonte: O autor.

Figura 4.2 -Localização dos semáforos na área urbana de Fortaleza.



Fonte: Google Earth ©, 2016.

Figura 4.3 -Amostra de interseções utilizadas no estudo de caso.



Fonte: O autor.

4.2 Coleta e Estimação dos Dados

Os dados de acidentes de trânsito foram agregados por severidade de acordo com a metodologia deste trabalho. No Apêndice A, B e C são apresentadas tais informações para os anos de 2009, 2010 e 2011, respectivamente.

O VDMA foi obtido através de fatores de expansão anual presentes no ANEXO A. Para os locais com dados faltosos, foi calculada a taxa de crescimento médio anual (TCMA) entre os anos como descrito na metodologia, obtendo assim a Tabela 4.1. Os dados de fluxo veicular estimados estão presentes no Apêndice D.

A Tabela 4.2 apresenta uma análise descritiva das variáveis utilizadas para estimar as medidas de desempenho. Esta análise foi feita com a média do VDMA dos três anos, o número de faixas, e o somatório dos acidentes dos três anos por local. O número de faixas coletado para cada local está disponível no Apêndice E.

Para toda a amostra ocorreu o total de 2.172 acidentes nos três anos. Dos quais, 1.365 foram sem vítimas, 771 feridos e 30 vítimas fatais.

Tabela 4.1 -Taxa de crescimento médio anual.

Ano válido	Ano faltoso	TMCA
2009	2010	1%
2009	2011	4%
2010	2009	3%
2010	2011	4%
2011	2009	2%
2011	2010	-1%
2013	2009	-1%
2013	2010	-3%
2013	2011	-1%

Tabela 4.2 -Análise descritiva das variáveis por local.

Variável	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
VDMA	36.287	11.877	14.101	64.175
Número de faixas	6,03	1,60	4	12
Acidentes com vítimas fatais	0,28	0,63	0	3
Acidentes com feridos	7,27	6,26	0	47
Acidentes sem vítimas	12,88	9,75	1	50
Número total de acidentes	20,49	15,20	5	91

4.3 Estimação das Medidas de Desempenho

Aplicando os critérios descritos na terceira etapa metodológica, dentre as 13 medidas de desempenho propostas pelo HSM e o modelo binário, as seguintes serão avaliadas: Frequência Média de Acidentes (FMA), Taxa de Acidentes (TAC), Unidade Padrão de Severidade (UPS), Nível de Serviço da Segurança (NSS), Excesso previsto na Frequência Média de Acidentes usando os MPA (EMPA), Frequência Média de Acidentes esperada usando o ajuste EB (EB) e Excesso esperado na Frequência Média de Acidentes com ajuste EB (EEB). Além disso será feita uma lista classificatória para a Taxa crítica (TCR') usando a diferença entre a Taxa de Acidentes e a Taxa Crítica. Os resultados das estimativas das medidas de desempenho estão no Apêndice E.

As demais não serão usadas pelos seguintes motivos: o IRS e o TCR não permitem a elaboração de listas classificatórias; o ELP e o EPAE produzem listas classificatórias baseadas em um tipo específico de acidentes, não sendo este objeto de estudo do presente artigo; o EMM apresenta a mesma lista classificatória que a FMA, isso ocorre devido ao uso de uma única população de referência; o UPS-EB necessita de um MPA para

cada tipo específico de acidentes, sendo este um dado não disponível e o MB aplicado também apresentou resultados próximos a FMA, além disso, a amostra de 106 interseções para estimar o modelo binário resultou através do processo de validação em uma porcentagem de verdadeiros positivos abaixo de 50%. O nível de serviço da segurança viária foi retirado da comparação, pois apesar de gerar listas classificatórias ele só atribui quatro níveis de serviço gerando assim muitos locais na mesma posição.

4.4 Análise Comparativa entre as Medidas de Desempenho

Para ambas as análises comparativas a medida de referência usada será o excesso na frequência média de acidentes esperados com o ajuste empírico de Bayes (EEB). O EEB será considerada a medida que melhor identifica os locais realmente críticos, isso porque ela identifica os locais que possuem uma maior estimativa dos acidentes do que já era previsto pelo MPA. Dessa maneira, interseções com muitos acidentes ou com VDMA altos não serão erroneamente priorizadas, sendo selecionadas aquelas que possuem maior potencial na redução de acidentes, ou seja, locais em que o número de acidentes pela estimativa do método EB esteja maior do que as características geométricas da sua população de referência preveem.

4.4.1 Análise Comparativa baseada nas Listas Classificatórias

Com a estimativa das medidas de desempenho, foram elaboradas as suas listas classificatórias para a análise comparativa. A Tabela 4.3 apresenta os trinta locais identificados como mais críticos pelo EEB e as posições desses locais nas listas classificatórias originadas pelas outras medidas de desempenho. Algumas medidas geram para diferentes locais os mesmos resultados, possuindo assim a mesma posição. Tal fato ocorre diversas vezes na medida de desempenho NSS, pois esta O Id é um número atribuído à interseção para identificá-la.

Aplicando a primeira avaliação, raiz do erro médio quadrático (REMQ), foi obtida a Tabela 4.4. A avaliação foi dividida em blocos de 10. O menor REMQ foi obtido pelo EMPA em todos os blocos. Nos blocos 1, 2 e 4 o EMPA alcançou a menor diferença na posição das listas classificatórias em relação ao EEB. No bloco 3, o valor do REMQ foi zero, ou seja, os locais classificados da posição 21 até a posição 30 pela medida EEB receberam as

mesmas posições pela medida EMPA, mas não necessariamente na mesma ordem. O segundo e terceiro menores foram o NSS e o TAC, respectivamente.

Tabela 4.3 -Listas Classificatórias de cada Medida de Desempenho.

Id	EEB	FMA	TAC	TCR'	EMPA	EB
15	1°	3°	3°	3°	1°	3°
25	2°	8°	4°	5°	3°	9°
8	3°	5°	12°	10°	5°	5°
10	4°	6°	1°	2°	6°	6°
28	5°	15°	7°	7°	2°	21°
7	6°	7°	9°	8°	7°	7°
72	7°	23°	8°	9°	4°	37°
47	8°	4°	6°	6°	8°	4°
27	9°	18°	19°	17°	10°	19°
6	10°	20°	23°	20°	12°	20°
87	11°	49°	14°	18°	9°	66°
92	12°	49°	22°	31°	11°	64°
82	13°	44°	39°	40°	13°	56°
12	14°	22°	18°	19°	14°	23°
34	15°	28°	13°	13°	15°	35°
36	16°	58°	46°	50°	16°	72°
55	17°	63°	40°	49°	18°	78°
42	18°	72°	31°	38°	17°	86°
2	19°	23°	29°	30°	20°	25°
80	20°	63°	48°	53°	19°	77°
78	21°	28°	20°	23°	21°	32°
31	22°	44°	33°	36°	22°	51°
35	23°	26°	27°	27°	23°	26°
79	24°	72°	61°	64°	24°	82°
43	25°	34°	26°	29°	25°	36°
102	26°	88°	47°	62°	26°	96°
56	27°	78°	64°	70°	27°	88°
20	28°	44°	62°	56°	28°	48°
67	29°	63°	11°	14°	29°	71°
21	30°	13°	28°	25°	30°	13°

Nota-se que o EB, apesar da sua formulação, apresenta maior REMQ. De acordo com Hauer (2002), quando os valores previstos da população de referência são tão diversos que a variância desses dados é bem maior que a média dos mesmos ($VAR \{k\} \gg E \{k\}$), o valor de α será muito pequeno. Com isso a população de referência exerce pouca influência e

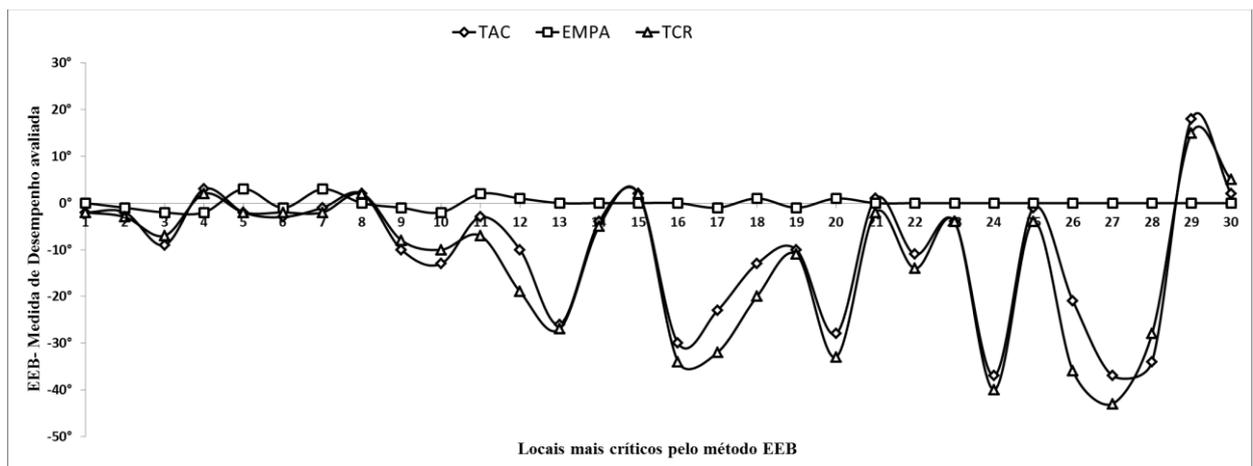
o EB está sendo estimado com maior peso pela frequência média de acidentes que por si só é um componente aleatório.

Tabela 4.4 -Raiz do erro médio quadrático das Medidas de Desempenho.

Medidas de Desempenho	REMQ				Total
	Bloco 1 1°-10°	Bloco 2 11° - 20°	Bloco 3 21° - 30°	Bloco 4 31° - 40°	
FMA	7,8	35,6	33,3	35,0	38,9
TAC	6,2	18,1	21,9	24,4	31,7
TAC'	5,0	22,3	24,5	29,8	33,9
UPS	7,7	36,8	36,1	33,2	38,0
EMPA	1,8	0,9	0,0	1,2	1,8
EB	12,0	47,8	39,4	38,9	42,0

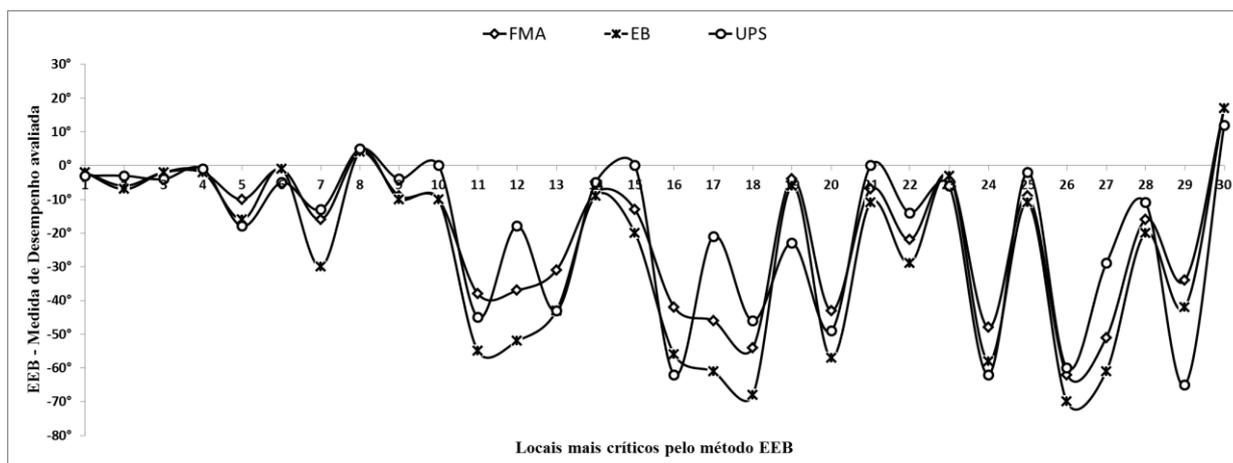
Continuando o processo metodológico, outra análise baseada na diferença entre as posições na lista (DPL) é apresentada nas Figuras 4.4 e 4.5. O eixo vertical corresponde à diferença entre a posição da lista gerada pela medida de referência (EEB) e a gerada pela medida de desempenho que se busca avaliar. O eixo horizontal apresenta a posição dos trinta locais mais críticos definidos pelo EEB, onde o local 1 é o mais crítico, o local 2 é o segundo mais crítico e assim sucessivamente.

Figura 4.4- Diferenças entre as posições das listas do EEB e do TAC, TCR e EMPA.



Fonte: O autor.

Figura 4.5 -Diferenças entre as posições das listas do EEB e do FMA, EB e UPS.



Fonte: O autor.

Através das Figuras 4.4 e 4.5 pode ser observado que as medidas de desempenho analisadas tendem a subestimar a posição dos locais em relação ao que o EEB estima, ou seja, há uma clara tendência da produção de falsos negativos. Isto é especialmente significativo para o FMA, EB, e UPS.

Tal como acontece com a análise do REMQ o EB apresenta novamente uma grande diferença em relação ao EEB, isto é porque o EB estima a frequência média de acidentes ponderando em conjunto os acidentes observados e os previstos pelo MPA de tal modo que a variável preditiva do MPA pode superestimar a segurança do local. Os locais com baixo volume de tráfego e baixo número de faixas sempre terão valores de MPA mais baixos. Os vales do gráfico possivelmente ocorrem devido a este fato. Os vales das posições, 5 e 7, por exemplo, possuem as primeiras classificações para EEB porque, apesar de suas características estimarem uma baixa frequência de acidentes para o ano em análise, a sua frequência obtida pelo EB foi relativamente alta, assim, os seus potenciais de melhoria são altos.

Observa-se que as curvas FMA, UPS e EB caminham juntas para os picos e vales, isso ocorre porque altos valores da FMA implicam em altos valores para UPS e EB. O UPS usa fatores de ponderação por tipo de severidade para estimar a frequência média de acidentes, quanto mais acidentes, maiores os valores de UPS. Fatores de ponderação relativamente altos para um tipo específico de acidente podem subestimar a segurança de um local, fazendo com que a UPS priorize esse local mais do que a EEB e a FMA, isso ocorre nos pontos 12 e 17. Quanto ao EB, a maioria dos locais com alta frequência de acidentes observados também possuem maiores valores de volume de tráfego e número de faixas,

maiores valores de FMA estão resultando em maiores valores de EB. Além disso, como dito anteriormente o EB está sendo estimado praticamente pelos acidentes observados.

A TAC possui pouca variação nas primeiras posições, com uma variação mais acentuada a partir da 13ª posição. A posição 29 possui baixo volume (14.101) e baixa frequência média de acidentes (4,3), assim o seu MPA e o seu EB irão estimar um baixo número de acidentes, assumindo posições menos prioritárias de acordo com o EEB. Porém, a TAC para esta posição teve seu ponto acima da curva, isso porque a TAC prioriza locais com baixo volume para um mesmo nível de FMA. A medida de desempenho TCR' leva em consideração a média do VDMA para a população, já que está se trabalhando com uma única população os seus resultados foram semelhantes ao da TAC.

O EMPA teve o melhor desempenho em relação ao EEB, ambas formulações se baseiam no excesso em relação ao MPA. Como o EB está estimando praticamente a frequência de acidentes observados, as medidas de desempenho EMPA e EEB estão obtendo valores próximos. O excesso irá indicar quais locais estão obtendo uma frequência de acidentes acima do que é previsto pelo MPA. Assim, quanto maior o excesso de um local mais elevado na hierarquia ele será.

A última avaliação para comparar os locais com base nas suas listas classificatórias é a do número de locais identificados como críticos (NLIC), que mostra os locais identificados como críticos por todas as medidas de desempenho. A Tabela 4.5 apresenta os 20 locais mais críticos de acordo com o EEB e quais locais estão na lista dos 20 mais críticos por outras medidas de desempenho. Além disso, adicionou-se a Tabela 4.5 a medida de desempenho Taxa Crítica (TCR), por ser uma medida de desempenho que não cria uma lista classificatória, não foi usada nas análises anteriores. A TCR é uma medida de desempenho usada pelos manuais brasileiros e identifica como pontos críticos aqueles em que a sua taxa de acidentes excedem a taxa crítica. A TCR obtêm nove verdadeiros positivos em relação ao EEB. A FMA, a TCR e o EB apresentaram os menores NLIC. A FMA ter o NLIC baixo significa que alguns locais com maiores frequência de acidentes não foram identificados como críticos pelo EEB porque as características geométricas daquela via já estimam uma FMA alta para esses locais. Em outras palavras, esses locais não possuem um alto potencial na redução de acidentes.

Tabela 4.5 - Vinte locais mais críticos identificados pelo método EEB.

Id	Via 1	Via 2	EEB*	FMA	TAC	NSS	EMPA	EB	UPS	TCR
15	HERACLITO GRACA	MANUEL	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
25	MANUEL	SANTOS DUMONT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8	MANUEL	COSTA BARROS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
10	JUCA	SANTOS DUMONT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
28	RUI BARBOSA	ANTONIO SALES	✓	✓	✓	✓	✓			✓
7	STUDART	ANTONIO SALES	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
72	SANTOS DUMONT	STUDART	✓		✓	✓	✓		✓	✓
47	LUIS	OSVALDO CRUZ (ALDEOTA)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
27	PONTES VIEIRA	GUSTAVO	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
6	MANUEL	PINTO MADEIRA	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
87	13 DE MAIO	DA UNIVERSIDADE	✓		✓	✓	✓			
92	SANTOS DUMONT	VINTE E CINCO DE MARCO	✓			✓	✓			
82	SANTOS DUMONT	VIRGILIO TAVORA	✓			✓	✓			
12	MANSUETO	ABOLICAO	✓		✓	✓	✓		✓	
34	ANTONIO SALES	JOSE LOURENCO	✓		✓	✓	✓		✓	✓
36	VIRGILIO TAVORA	ANTONIO SALES	✓			✓	✓			
55	ANTONIO TOMAS	MOREIRA	✓			✓	✓			
42	ANTONIO SALES	JOAO CORDEIRO	✓			✓	✓			
2	DA UNIVERSIDADE	CICERO	✓			✓	✓			
80	STUDART	VALDEVINO	✓			✓	✓			
Número de Locais Identificados como Críticos (NLIC)			20	9	12	20	20	8	11	9

*medida de referência.

4.4.2 Análise Comparativa baseada na Consistência Temporal

A análise temporal é adaptada do índice desenvolvido por Montella (2010), sendo necessário calcular primeiramente os três testes propostos por Cheng e Washington (2008). Além disso, as medidas de desempenho devem ser calculadas para dois períodos de tempo subsequentes. Como a amostra em estudo possui três anos de acidentes, foram feitas três combinações dos anos para cada um dos três testes, totalizando nove resultados para cada medida de desempenho. As combinações foram as seguintes: período 1 (2009) e período 2 (2010), período 1 (2010) e período 2 (2011) e período 1 (2009) e período 2 (2011). Os locais verdadeiramente críticos foram definidos como os 30 locais que no período 2 possuem a maior frequência de acidentes esperados definidos pelo EEB.

Para a presente amostra, a medida de referência EEB apresentou vários locais com valores abaixo de zero, isso não significa que este local não possua um potencial na redução de acidentes, mas na verdade ele possui um menor potencial do que os valores positivos. Para que os resultados do teste temporal não fossem negativos, buscou-se na amostra de 106

interseções o menor valor de EEB e depois, somou-se esse valor a todas as interseções. O motivo de optar por valores não negativos é deixar os resultados da análise mais didáticos. Tal opção reduz a diferença entre os resultados das medidas de desempenho, porém a ordenação das medidas de acordo com o grau de desempenho delas não é modificada.

Aplicando o primeiro teste (T1), obteve-se um melhor desempenho para as medidas EMPA e EEB (Tabela 4.6), pois elas identificaram no τ_1 locais que irão possuir um maior excesso na frequência média de acidentes com ajuste EB no τ_2 . Por exemplo, as medidas EEB e EMPA identificaram no τ_1 (09) locais com um EEB de 945 acidentes no τ_2 (11). O NSS obteve resultados muito próximos das melhores medidas, enquanto que o UPS obteve os piores resultados. A FMA e TAC apesar de serem medidas simples, possuíram um melhor desempenho do que o EB.

Tabela 4.6 - Somatório do EEB para o T1.

Medida de Desempenho	Período 1 (2009) Período 2 (2010)	Período 1 (2010) Período 2 (2011)	Período 1 (2009) Período 2 (2011)
FMA	897	849	860
TAC	904	882	880
UPS	898	855	861
NSS	971	963	944
EMPA	971	964	945
EB	863	834	827
EEB	971	962	945

Aplicando o segundo teste (T2), foi obtido o número de locais verdadeiramente críticos identificados no τ_1 . Pela Tabela 4.7, é possível perceber que ao longo dos anos as medidas EEB, EMPA e NSS conseguiram identificar o maior número de locais verdadeiramente críticos no τ_1 . Essas medidas, por exemplo, identificaram 19 locais dos 30 locais críticos, para o τ_1 (09) e τ_2 (10).

Em seguida, para o T2, o melhor desempenho foi obtido pela TAC, identificando ao longo dos períodos 50%, 53% e 40% dos locais verdadeiramente críticos. A FMA e o UPS tiveram desempenhos próximos e apesar de sofrerem o FRM identificaram uma maior porcentagem de locais verdadeiramente críticos em períodos subsequentes de tempo do que o EB.

Tabela 4.7 -Número de locais identificados como verdadeiramente críticos para o T2.

Medida de Desempenho	Período 1 (2009) Período 2 (2010)	Período 1 (2010) Período 2 (2011)	Período 1 (2009) Período 2 (2011)
FMA	14 (47%)	12 (40%)	12 (40%)
TAC	15 (50%)	16 (53%)	12 (40%)
UPS	13 (43%)	12 (40%)	11 (37%)
NSS	19 (63%)	16 (53%)	16 (53%)
EMPA	19 (63%)	17 (57%)	16 (53%)
EB	10 (33%)	10 (33%)	10 (33%)
EEB	19 (63%)	16 (53%)	16 (53%)

Aplicando o terceiro teste (T3), obtêm-se a mesma sequência de bom desempenho obtida nos testes anteriores (Tabela 4.8). Em que, o EMPA e o EEB, novamente obtiveram o melhor desempenho, conseguindo as menores diferenças entre as posições dos locais das listas classificatórias geradas em períodos subsequentes de tempo.

Tabela 4.8 - Somatório da diferença das posições das listas classificatórias para o T3.

Medida de Desempenho	Período 1 (2009) Período 2 (2010)	Período 1 (2010) Período 2 (2011)	Período 1 (2009) Período 2 (2011)
FMA	1167	1324	1302
TAC	856	1018	1161
UPS	1067	1315	1272
NSS	189	942	1038
EMPA	189	587	718
EB	1370	1437	1457
EEB	189	631	718

Após o cálculo dos três testes, foi obtido o valor do índice de desempenho da segurança viária (Tabela 4.9). Como abordado nas referências da dissertação, o índice possui a vantagem de ser um indicador único, facilitando a análise, de tal maneira que a medida que apresentar o melhor desempenho nos três testes irá atingir a pontuação 100.

As medidas de desempenho EMPA e EEB tiveram os melhores resultados no teste temporal, pois o seus índices foram 100 na maioria das vezes, o que já era esperado, pois são medidas que tratam do excesso na sua formulação. O NSS obteve o terceiro melhor desempenho dentre as medidas, mas vale ressaltar que assim como na análise anterior, o estudo temporal também é baseado na diferença entre as listas classificatórias e o NSS por classificar muitos locais em uma mesma posição se torna difícil de comparar.

Tabela 4.9 - Índice de desempenho da segurança viária.

Medida de Desempenho	Período 1 (2009) Período 2 (2010)	Período 1 (2010) Período 2 (2011)	Período 1 (2009) Período 2 (2011)
FMA	65	69	75
TAC	74	85	79
UPS	66	70	74
NSS	100	90	93
EMPA	100	100	100
EB	52	62	66
EEB	100	97	100

A TAC e a FMA obtiveram um desempenho similar. A TAC foi ainda um pouco melhor do que a FMA, provavelmente pelo fato de incorporar o VDMA na sua formulação, de tal maneira que em um ano posterior a TAC ajusta a oscilação sofrida pela FMA devido a uma possível variação anual do fluxo veicular. A FMA apesar de estar submetida a flutuações aleatórias apresentou um melhor desempenho do que o EB para a amostra em estudo. Os motivos do desempenho obtidos pelo UPS e pelo EB são semelhantes aos da análise comparativa baseada nas listas classificatórias.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este estudo descreveu a metodologia e apresentou a sua aplicação prática para avaliar comparativamente as medidas de desempenho para identificação de pontos críticos.

Os dados de acidentes da cidade de Fortaleza (CE) foram utilizados para estimar medidas de desempenho presentes na literatura aplicadas a um conjunto de interseções semaforizadas de uma área urbana. Foram avaliadas medidas mais simples como frequência média e taxa de acidentes, até medidas que necessitam de um maior esforço de modelagem como, por exemplo, o excesso esperado na frequência média de acidentes pelo método empírico de Bayes.

A partir desse estudo, foi adquirido um maior conhecimento dessa abordagem, resultando em uma série de conclusões e recomendações que poderão orientar futuros estudos que venham a utilizar este método de comparação de medidas de desempenho.

Nos tópicos a seguir serão apresentadas as principais conclusões e recomendações dessa pesquisa de dissertação.

5.1 Conclusões

Os métodos de identificação de pontos críticos são uma etapa fundamental para o processo de gestão da segurança viária. A revisão da literatura descreveu os métodos de identificação de pontos críticos disponíveis na bibliografia, sendo possível concluir que as suas etapas são muito semelhantes entre si. Também foi notado que os pesquisadores abordam a estimação das medidas de desempenho como se fosse o método, quando na verdade ela é uma etapa do método. A confusão entre o método e a medida de desempenho ocorre, pois todos os esforços do método estão voltados a estimação das medidas de desempenho e o produto delas é a sua lista classificatória.

Através da revisão da literatura das medidas de desempenho propostas pelos manuais norte-americano e brasileiro foi possível identificar que a medida de desempenho excesso na frequência média de acidentes esperados com o ajuste EB possui mais vantagens e menos limitações quando comparada as demais. Esta medida identifica como críticos aqueles locais que possuem um maior número esperado de acidentes pelo método EB do que o modelo de previsão de acidentes pode prever. O modelo de previsão de acidentes estima o número de acidentes que já é esperado para um determinado local dependendo das suas características geométricas e operacionais. Quando a frequência média de acidentes pela

medida EB estimar um número maior de acidentes do que o modelo, então haverá um excesso de acidentes no local.

Mesmo que o EB possua valores relativamente altos, se o modelo de previsão de acidentes estimar uma frequência média de acidentes esperada próximo ou menor ao valor do EB, este local possui um baixo potencial na redução de acidentes. Assim, um local com uma menor frequência média de acidentes pela medida EB pode ser priorizado em relação a um local com maior EB, por exemplo, desde que a suas características estejam prevendo um valor da frequência média de acidentes esperada menor do que o estimado pelo EB. Assim, a medida EEB é capaz de comparar de maneira similar locais com diferentes atributos, de maneira a evidenciar os locais com maior potencial na redução de acidentes.

A probabilidade de um local ser crítico com o uso de um modelo de regressão binário (Ferreira e Couto, 2012) e o índice de desempenho composto da segurança viária também foram avaliados na revisão da literatura. Uma das etapas para desenvolver o modelo de regressão binário é a geração de uma base simulada de dados com o intuito de obter uma amostra significativa para uma posterior comparação entre medidas. A reprodução de uma base de dados fictícia pode gerar combinações de volume de tráfego e número de ramos não representativas da realidade. Além disso, os locais verdadeiramente críticos foram definidos como os locais gerados pela base simulada que possuem a simples frequência média de acidentes acima do 95º percentil.

O índice de desempenho composto da segurança viária é um método para atribuir pesos a um conjunto de indicadores que combinados formam o índice, compreendendo-se assim que este índice se assemelha a unidade padrão de severidade abordado no manual norte-americano e brasileiro. A unidade padrão de severidade também é um índice composto, porém os seus pesos são calculados com base nos custos gerados em função da severidade do acidente de trânsito. Para os casos de utilização de índices compostos o maior desafio está na atribuição dos pesos de cada indicador em separado, como também no tratamento estatístico dado ao índice composto o qual deve ser atribuído uma distribuição estatística para a avaliação da variabilidade do índice.

A decisão de qual medida de desempenho usar para identificar locais com maior potencial na redução de acidentes é um fator importante para os resultados finais em termos de eficiência do processo de gestão da segurança viária. Ao avaliar a formulação das medidas de desempenho disponíveis, notou-se que a boa representatividade do fenômeno acidente está associada a necessidade de um maior esforço de modelagem e banco de dados mais

informativos. Tais requisitos se tornam barreiras a serem enfrentadas na aplicação de métodos de identificação de pontos críticos para jurisdições de países em desenvolvimento. As informações necessárias para aplicar as medidas de desempenho mais simples como frequência média e taxa de acidentes são: número observado de acidentes por local, número observado de acidentes por severidade e fluxo veicular. Devido à carência dos bancos de dados brasileiros, nem sempre as informações de fluxo veicular estão disponíveis, tendo, por vezes, apenas contagens horárias de fluxo. Além disso, por vezes, essas informações encontram-se dispersas em diferentes bancos de dados.

A comparação entre as medidas de desempenho proposta na metodologia do presente trabalho foi baseada na diferença entre as listas classificatórias de uma medida que se busca avaliar e uma medida de referência. Com base na revisão de literatura, a medida de referência usada foi o EEB. As 106 interseções semaforizadas foram listadas de acordo com cada medida de desempenho e comparadas com a lista classificatória gerada pela medida de referência EEB usando o erro médio quadrático. Uma avaliação gráfica também foi realizada através das diferenças entre as listas classificatórias geradas pelas medidas de desempenho e pelo EEB. Verificaram-se quais interseções eram listadas como 20 primeiras críticas por todas as medidas de desempenho.

Além disso, foi feita uma revisão da literatura com os métodos de comparação de medidas de desempenho propostos por outros pesquisadores e optou-se por adaptar a análise de consistência temporal (Cheng e Washington, 2008; Montella, 2010). Já que comparações baseadas em falsos positivos e falsos negativos não são suficientes para explorar a variação na priorização de locais críticos, pois não incorpora na sua análise a posição dos locais críticos nas listas classificatórias.

Para ambas as análises foi obtida a seguinte sequência de desempenho satisfatório em relação a medida de referência: Excesso previsto na Frequência Média de Acidentes usando o MPA (EMPA), Nível de Serviço da Segurança (NSS), Taxa de Acidentes (TAC), Frequência Média de Acidentes (FMA), Unidade Padrão de Severidade (UPS), Frequência Média de Acidentes esperada usando o ajuste empírico de Bayes (EB).

O EMPA teve o melhor desempenho em relação a medida de referência, o que já era esperado, pois ambas formulações se baseiam no excesso em relação ao modelo de previsão de acidentes.

O segundo melhor desempenho foi obtido pelo nível de serviço da segurança viária, porém tal medida possui apenas quatro categorias classificatórias, sendo difícil

identificar quais locais são realmente críticos já que vários locais irão pertencer a mesma posição.

A taxa de acidentes obteve um melhor desempenho do que a frequência média de acidentes e foi a terceira melhor nas análises. O fluxo veicular é uma das variáveis independentes do modelo de previsão de acidentes usado no presente estudo, assim para fluxos altos são estimadas frequências médias de acidentes altas. Com isso, um local com frequência de acidentes e fluxo veicular altos terá pouco potencial na redução de acidentes. A taxa de acidentes obteve bons resultados em relação a medida de referência, pois assim como o excesso, ela estabiliza a frequência média de acidentes para fluxos veiculares altos.

A unidade padrão de severidade apresentou desempenho aproximado ao da frequência média de acidentes, mas vale ressaltar que a presente amostra não possuía muitos acidentes com vítimas fatais e pedestres, sendo estas variáveis de maior peso na formulação desta medida de desempenho.

A frequência média de acidentes obteve melhor desempenho do que a frequência ajustada pelo método empírico de Bayes mesmo estando submetida ao fenômeno de regressão à média. Deve ser considerado que o método empírico de Bayes foi estimado com maior peso pela própria frequência média de acidentes do que pelo modelo de previsão de acidentes, sendo esta a causa da pouca diferença entre as medidas.

Foi possível concluir com os resultados dos testes baseados nas listas classificatórias e no teste temporal que para priorizar locais críticos em áreas urbanas brasileiras, para os anos em estudo, a medida de desempenho taxa de acidentes foi muito informativa e relativamente precisa. Tal resultado é satisfatório para os técnicos de segurança viária que diante de base de dados de acidentes limitadas usam a taxa de acidentes. Vale salientar que este resultado foi obtido para uma amostra de interseções semaforizadas e que a taxa de acidentes é uma medida que está submetida ao fenômeno de regressão à média. Além disso, os avanços no conhecimento de medidas que representem melhor o fenômeno acidente de trânsito e o desenvolvimento de bancos de dados mais informativos são imprescindíveis para resultados mais precisos na identificação de locais críticos.

5.2 Recomendações

Ao longo do desenvolvimento do procedimento metodológico para comparação de medidas de desempenho na identificação de pontos críticos em áreas urbanas, alguns

tópicos foram identificados para extensões e desenvolvimentos futuros. Dentre estes, recomenda-se:

- a) confirmar os resultados obtidos neste trabalho para outras amostras de interseções semaforizadas em outras jurisdições brasileiras;
- b) aplicar o método aqui proposto para outras populações de referência, verificando se medidas de desempenho mais simples geram posições muito diferentes de medidas mais robustas;
- c) investigar fatores de transferência espacial e temporal dos modelos de previsão de acidentes para estimação das medidas de desempenho;
- d) comparar diferentes populações de referência dentro de um mesmo conjunto de dados, verificando assim se as medidas de desempenho que levam em conta a média e a variância da população apresentam melhores resultados;
- e) realizar um estudo sobre os custos monetários por severidade de acidentes podendo assim utilizar na metodologia de comparação deste trabalho o índice relativo de severidade.

REFERÊNCIAS

AASHTO. **Highway Safety Manual**, American Association of State and Highway Transportation Officials, Washington, DC, 2010.

ALLURI, P.; SAHA, D.; GAN, A. Prioritization of Highway Safety Manual (HSM) Data Variables Using Random Forest Algorithm. **Transportation Research Board of the National Academies**, Washington, D.C, 2015.

ASTEF. Associação Técnico-Científica. **Modelagem no Apoio à Decisão no Planejamento, Operação e Gestão dos Sistemas de Transporte Público e de Circulação Viária de Fortaleza**. 2º Relatório Semestral de Atividades Março a Agosto/2015. Universidade Federal do Ceará, 2015.

CHENG, W.; WASHINGTON, S. New Criteria for Evaluating Methods of Identifying Hot Spots. **Transportation Research Record**, TRR, National Research Council, Washington, DC, p. 76–85, 2008.

CUNTO, F.J.C.; NETO M.M.C.; BARREIRA D.S. Modelos de previsão de acidentes de trânsito em interseções semaforizadas de Fortaleza. **Transportes**, v. 20, n. 2, p. 57–64, 2012.

COLL, B.; MOUTARI, S.; MARSHALL, A. H. Hotspots identification and ranking for road safety improvement: An alternative approach, **Accident Analysis & Prevention**, 2013.

COUTO, A.; FERREIRA, S. **Método Probabilístico para Identificação de Zonas de Acumulação de Acidentes**. Anais do XXVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Joinville, v. 1., p. 763-774, 2012.

DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro, 384 p. ,2006.

DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Elaboração de ações preventivas e corretivas de segurança rodoviária, por meio de identificação e**

mapeamento dos segmentos críticos da malha viária do DNIT. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Transportes e Logística. 73 p. , 2010.

ELVIK, R. Comparative Analysis of Techniques for Identifying Locations of Hazardous Roads. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, p. 72-75, 2008.

FERREIRA, S.; MARTINS, J. Métodos de identificação de zonas de acumulação de acidentes: Revisão e aplicação a um caso de estudo. **Transportes**, v. 22, n. 3, p. 103–116, 2014.

HAUER, E., D. W. HARWOOD, F. M. Council, and M. S. Griffith. Estimating Safety by the Empirical Bayes Method: A Tutorial. **Transportation Research Record**, Washington, D.C., n. 1784, p. 126–131, 2002.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, **IPEA estima custo com acidentes no Brasil em R\$ 40 bilhões.** 2012. Disponível em: <http://www.congressodetransito.rs.gov.br/noticias/detalhe/20/IPEA-estima-custo-anual-com-acidentes-no-Brasil-em-R-40-bilhes>. Acesso em: 04 de Abril de 2016.

JALAYER, M.; ZHOU, H.; GONG, J.; Hu, S., GRINTER, M. A Comprehensive Assessment of Highway Inventory Data Collection Methods for Implementing Highway Safety Manual. **Transportation Research Board of the National Academies**, Washington, D.C., 2015.

LIU R.; HYMAN G. **Generic guidance for modeling merges.** Proceedings of the European transport conference, Leeuwenhorst Conference Centre, The Netherlands, 2008.

MT. Ministério dos Transportes, **Procedimentos para o Tratamento de Locais Críticos de Acidentes de Trânsito.** Programa PARE, 2002.

MIRANDA-MORENO, L. F. **Statistical models and methods for identifying hazardous locations for safety improvements.** PhD Thesis, University of Waterloo, Canadá, 2006.

MONTELLA, A. A comparative analysis of hotspot identification methods. **Accident Analysis and Prevention**, n. 42, p. 571-581, 2010.

OLIVEIRA, M. V. **A Natureza dos Padrões de Variação Espaço-temporal do Volume Veicular em Ambiente Urbano: Estudo de Caso em Fortaleza**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

ROESS, R.P., PRASSAS, E. S. e MCSHANE, W.R. **Traffic Engineering**. 4th Edition. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 2011.

SUN, X., MAGRI; D. SHIRAZI; H. H., GILLELLA, S. Application of the Highway Safety Manual: Louisiana Experience with Rural Multilane Highways. **Transportation Research Board of the National Academies**, Washington, D.C, 2011.

WASELFISZ, J. J.(2012) **Mapa da Violência 2012. Os Novos Padrões da Violência Homicida no Brasil. Caderno Complementar 2: Acidentes de Trânsito**. São Paulo, Instituto Sangari. 2012. Disponível em: http://www.mapadaviolencia.org.br/pdf2012/mapa2012_transito.pdf. Acesso em: 04 de Abril de 2016.

WHO. **Global Status Report on Road Safety 2013**. World Health Organization. 2013. Disponível em: www.who.int/iris/bitstream/10665/78256/1/9789241564564_eng.pdf. Acesso em: 04 de Abril de 2016.

XIE, F.; GLADHILL, K.; DIXON, K. K.; MONSERE, M. C. Calibrating the Highway Safety Manual Predictive Models for Oregon State Highways. **Transportation Research Board of the National Academies**, Washington, D.C, 2011.

APÊNDICE

APÊNDICE A: NÚMERO DE ACIDENTES OBSERVADOS POR SEVERIDADE NA AMOSTRA DO ESTUDO DE CASO PARA O ANO DE 2009.

Id	Via1	Via2	Total	Mortos	Pedestres	Feridos	Ilesos
1	HERACLITO GRACA	MANUEL	20	0	0	4	16
2	MANUEL	SANTOS DUMONT	10	0	3	0	7
3	MANUEL	COSTA BARROS	9	0	0	0	9
4	JUCA	SANTOS DUMONT	7	0	0	1	6
5	CARAPINIMA	13 DE MAIO	12	1	0	0	11
6	RUI BARBOSA	ANTONIO SALES	12	0	0	1	11
7	STUDART	ANTONIO SALES	12	0	1	2	9
8	MOREIRA	ANTONIO SALES	23	0	0	0	23
9	SANTOS DUMONT	STUDART	6	0	1	0	5
10	FRANCISCO SA	THEBERGE	25	1	2	5	17
11	LUIS	OSVALDO CRUZ (ALDEOTA)	6	0	0	0	6
12	PONTES VIEIRA	GUSTAVO	12	0	1	2	9
13	SANTOS DUMONT	MOREIRA	18	0	0	2	16
14	MANUEL	PINTO MADEIRA	7	0	0	3	4
15	13 DE MAIO	DA UNIVERSIDADE	24	0	2	1	21
16	SANTOS DUMONT	VINTE E CINCO DE MARCO	3	0	0	1	2
17	SANTOS DUMONT	VIRGILIO TAVORA	8	0	0	1	7
18	MANSUETO	ABOLICAO	7	0	0	2	5
19	JOAO CARVALHO	STUDART	6	0	0	3	3
20	ANTONIO SALES	JOSE LOURENCO	4	0	0	1	3
21	VIRGILIO TAVORA	ANTONIO SALES	13	0	0	1	12
22	ANTONIO TOMAS	MOREIRA	5	0	0	0	5
23	ANTONIO TOMAS	VIRGILIO TAVORA	4	0	0	0	4
24	ANTONIO SALES	JOAO CORDEIRO	5	0	1	1	3
25	DA UNIVERSIDADE	CICERO	21	0	1	7	13
26	LUIS	VIRGILIO TAVORA	11	0	0	2	9
27	STUDART	VALDEVINO	10	0	1	2	7
28	VALDEVINO	RUI BARBOSA	6	0	0	2	4
29	STUDART	PEREIRA FILGUEIRAS	9	0	0	1	8
30	FERNANDES TAVORA	LINEU MACHADO	18	0	0	5	13
31	SANTOS DUMONT	RUI BARBOSA	10	0	0	1	9
32	RUI BARBOSA	COSTA BARROS	1	0	0	0	1
33	DOS EXPEDICIONARIOS	SILAS MUNGUBA	46	0	1	6	39
34	MOREIRA	EDUARDO GARCIA	9	0	0	1	8
35	TIBURCIO CAVALCANTI	SANTOS DUMONT	7	0	0	0	7
36	VALDEVINO	TIBURCIO CAVALCANTI	7	0	0	3	4

APÊNDICE A: CONTINUAÇÃO

Id	Via1	Via2	Total	Mortos	Pedestres	Feridos	Ilesos
37	VALDEVINO	LEOPOLDINA	3	0	0	1	2
38	JOAO CORDEIRO	RAIMUNDO GIRAO	4	0	0	0	4
39	MOREIRA	LEITE ALBUQUERQUE	11	0	0	1	10
40	SANTOS DUMONT	LEONARDO MOTA	12	0	0	2	10
41	ABOLICAO	JULIO IBIAPINA	6	0	0	1	5
42	JOAO CORDEIRO	PEREIRA FILGUEIRAS	5	0	0	4	1
43	BENEVOLO	STUDART	5	0	0	2	3
44	BARBOSA DE FREITAS	SANTOS DUMONT	8	0	0	1	7
45	RUI BARBOSA	PEREIRA FILGUEIRAS	5	0	0	3	2
46	JOAO CORDEIRO	SANTOS DUMONT	4	0	1	0	3
47	OLIVEIRA PAIVA	GONZAGA	14	0	0	4	10
48	MOREIRA DA ROCHA	STUDART	4	0	0	1	3
49	TIBURCIO CAVALCANTI	TORRES CAMARA	3	0	0	1	2
50	MOREIRA	ISAC AMARAL	12	0	0	2	10
51	OSVALDO CRUZ (ALDEOTA)	ABOLICAO	14	0	0	7	7
52	TIBURCIO CAVALCANTI	ABOLICAO	8	0	0	0	8
53	BARBOSA DE FREITAS	ANTONIO TOMAS	4	0	1	1	2
54	LEONARDO MOTA	ANTONIO TOMAS	6	0	0	2	4
55	CARLOS VASCONCELOS	TORRES CAMARA	4	0	0	1	3
56	SANTOS DUMONT	CARLOS VASCONCELOS	3	0	0	0	3
57	OSVALDO CRUZ (ALDEOTA)	ANTONIO TOMAS	6	0	0	0	6
58	LEONARDO MOTA	LUIS	9	0	0	2	7
59	MOREIRA	CANUTO DE AGUIAR	3	0	0	2	1
60	ANA BILHAR	MOREIRA	6	0	0	2	4
61	CANUTO DE AGUIAR	VIRGILIO TAVORA	3	0	0	1	2
62	VIRGILIO TAVORA	ANA BILHAR	3	0	0	1	2
63	SORIANO ALBUQUERQUE	STUDART	4	0	0	1	3
64	LEITE ALBUQUERQUE	VIRGILIO TAVORA	5	0	0	0	5
65	EDUARDO GARCIA	VIRGILIO TAVORA	1	0	0	0	1
66	JOVITA FEITOSA	LINO	3	0	0	1	2
67	JOVITA FEITOSA	JOSE DE BARCELOS	4	0	0	0	4
68	SANTOS DUMONT	JULIO AZEVEDO	5	0	1	1	3
69	RUI BARBOSA	JOAO CARVALHO	3	0	0	2	1
70	ANTONIO TOMAS	JOAQUIM NABUCO	2	0	0	1	1
71	OSVALDO CRUZ (ALDEOTA)	SANTOS DUMONT	6	0	0	1	5
72	SORIANO ALBUQUERQUE	RUI BARBOSA	9	0	0	2	7

APÊNDICE A: CONTINUAÇÃO

Id	Via1	Via2	Total	Mortos	Pedestres	Feridos	Ilesos
73	VALDEVINO	JOSE LOURENCO	4	0	1	1	2
74	VICENTE LINHARES	VIRGILIO TAVORA	2	0	0	1	1
75	CEARA	JOSE BASTOS	12	0	0	3	9
76	TOMAS ACIOLI	MOREIRA	2	0	0	0	2
77	FRANCISCO HOLANDA	MOREIRA	6	0	0	1	5
78	PONTES VIEIRA	BARBOSA DE FREITAS	8	0	0	2	6
79	CARLOS VASCONCELOS	VALDEVINO	3	0	0	2	1
80	JOSE VILAR	VALDEVINO	6	0	0	0	6
81	JULIO VENTURA	JOSE VILAR	4	0	0	0	4
82	SANTOS DUMONT	JOSE VILAR	8	0	0	0	8
83	SANTOS DUMONT	BATISTA DE OLIVEIRA	9	0	0	4	5
84	EDUARDO GARCIA	LEONARDO MOTA	5	0	0	0	5
85	ILDEFONSO ALBANO	SANTOS DUMONT	4	0	0	1	3
86	ILDEFONSO ALBANO	COSTA BARROS	4	0	0	1	3
87	ILDEFONSO ALBANO	BENEVOLO	8	0	0	2	6
88	TABOSA	ILDEFONSO ALBANO	5	0	0	3	2
89	VALDEVINO	ILDEFONSO ALBANO	1	0	0	0	1
90	ANTONIO SALES	ILDEFONSO ALBANO	4	0	0	0	4
91	PINTO MADEIRA	ILDEFONSO ALBANO	2	0	0	1	1
92	PEREIRA FILGUEIRAS	ILDEFONSO ALBANO	4	0	1	0	3
93	PAULA BARROS	ABOLICAO	7	0	0	2	5
94	CATAO	ANTONIO TOMAS	6	0	0	0	6
95	CARVALHO	PONTES VIEIRA	7	0	0	3	4
96	ANTONIO SALES	JOSE VILAR	3	0	0	1	2
97	JULIO VENTURA	SILVA PAULET	4	0	0	0	4
98	VICENTE LEITE	LUIS	5	0	0	1	4
99	LEONARDO MOTA	MARCOS MACEDO	2	0	0	0	2
100	BARBOSA DE FREITAS	ANTONIO SALES	2	0	0	1	1
101	MOREIRA	VICENTE LINHARES	3	0	0	0	3
102	BARBOSA DE FREITAS	VICENTE LINHARES	3	0	0	1	2
103	ALVES TEIXEIRA	STUDART	3	0	0	1	2
104	DA UNIVERSIDADE	JUVENAL GALENO	2	0	0	0	2
105	HENRIQUE SABOIA	ANTONIO TOMAS	13	0	1	3	9
106	GODOFREDO MACIEL	BENJAMIM BRASIL	28	0	1	8	19

APÊNDICE B: NÚMERO DE ACIDENTES OBSERVADOS POR SEVERIDADE NA AMOSTRA DO ESTUDO DE CASO PARA O ANO DE 2010.

Id	Via1	Via2	Total	Mortos	Pedestres	Feridos	Ilesos
1	HERACLITO GRACA	MANUEL	12	0	0	1	11
2	MANUEL	SANTOS DUMONT	8	0	1	3	4
3	MANUEL	COSTA BARROS	5	0	0	0	5
4	JUCA	SANTOS DUMONT	4	0	0	0	4
5	CARAPINIMA	13 DE MAIO	14	0	1	1	12
6	RUI BARBOSA	ANTONIO SALES	7	0	0	0	7
7	STUDART	ANTONIO SALES	23	0	2	3	18
8	MOREIRA	ANTONIO SALES	15	0	0	4	11
9	SANTOS DUMONT	STUDART	9	0	0	2	7
10	FRANCISCO SA	THEBERGE	15	0	2	2	11
11	LUIS	OSVALDO CRUZ (ALDEOTA)	4	0	0	1	3
12	PONTES VIEIRA	GUSTAVO	9	0	0	1	8
13	SANTOS DUMONT	MOREIRA	14	0	1	3	10
14	MANUEL	PINTO MADEIRA	4	0	1	1	2
15	13 DE MAIO	DA UNIVERSIDADE	27	0	0	4	22
16	SANTOS DUMONT	VINTE E CINCO DE MARCO	0	0	0	0	0
17	SANTOS DUMONT	VIRGILIO TAVORA	16	0	1	2	13
18	MANSUETO	ABOLICAO	2	0	0	0	2
19	JOAO CARVALHO	STUDART	5	0	0	2	3
20	ANTONIO SALES	JOSE LOURENCO	6	0	0	1	5
21	VIRGILIO TAVORA	ANTONIO SALES	15	0	0	2	13
22	ANTONIO TOMAS	MOREIRA	8	0	0	1	7
23	ANTONIO TOMAS	VIRGILIO TAVORA	5	0	0	1	4
24	ANTONIO SALES	JOAO CORDEIRO	2	0	0	0	2
25	DA UNIVERSIDADE	CICERO	12	0	1	3	8
26	LUIS	VIRGILIO TAVORA	14	0	0	3	11
27	STUDART	VALDEVINO	14	0	0	2	12
28	VALDEVINO	RUI BARBOSA	13	0	0	3	10
29	STUDART	PEREIRA FILGUEIRAS	5	0	0	1	4
30	FERNANDES TAVORA	LINEU MACHADO	10	0	0	4	6
31	SANTOS DUMONT	RUI BARBOSA	5	0	0	0	5
32	RUI BARBOSA	COSTA BARROS	4	0	0	2	2
33	DOS EXPEDICIONARIOS	SILAS MUNGUBA	23	0	0	4	18
34	MOREIRA	EDUARDO GARCIA	7	0	0	0	7
35	TIBURCIO CAVALCANTI	SANTOS DUMONT	7	0	0	1	6
36	VALDEVINO	TIBURCIO CAVALCANTI	1	0	0	0	1

APÊNDICE B: CONTINUAÇÃO

Id	Via1	Via2	Total	Mortos	Pedestres	Feridos	Ilesos
37	VALDEVINO	LEOPOLDINA	4	0	0	1	3
38	JOAO CORDEIRO	RAIMUNDO GIRAO	6	0	0	1	5
39	MOREIRA	LEITE ALBUQUERQUE	8	0	0	2	6
40	SANTOS DUMONT	LEONARDO MOTA	6	0	0	2	4
41	ABOLICAO	JULIO IBIAPINA	7	0	0	0	7
42	JOAO CORDEIRO	PEREIRA FILGUEIRAS	5	0	0	2	3
43	BENEVOLO	STUDART	9	0	0	0	9
44	BARBOSA DE FREITAS	SANTOS DUMONT	10	0	0	1	9
45	RUI BARBOSA	PEREIRA FILGUEIRAS	6	0	0	1	5
46	JOAO CORDEIRO	SANTOS DUMONT	2	0	0	1	1
47	OLIVEIRA PAIVA	GONZAGA	18	1	1	2	14
48	MOREIRA DA ROCHA	STUDART	3	0	0	0	3
49	TIBURCIO CAVALCANTI	TORRES CAMARA	1	0	0	1	0
50	MOREIRA	ISAC AMARAL	10	0	0	2	8
51	OSVALDO CRUZ (ALDEOTA)	ABOLICAO	10	1	0	2	7
52	TIBURCIO CAVALCANTI	ABOLICAO	9	0	0	2	7
53	BARBOSA DE FREITAS	ANTONIO TOMAS	2	0	0	0	2
54	LEONARDO MOTA	ANTONIO TOMAS	5	0	0	2	3
55	CARLOS VASCONCELOS	TORRES CAMARA	2	0	0	0	2
56	SANTOS DUMONT	CARLOS VASCONCELOS	3	0	0	1	2
57	OSVALDO CRUZ (ALDEOTA)	ANTONIO TOMAS	4	0	0	0	4
58	LEONARDO MOTA	LUIS	4	0	0	2	2
59	MOREIRA	CANUTO DE AGUIAR	2	0	0	1	1
60	ANA BILHAR	MOREIRA	5	0	0	1	4
61	CANUTO DE AGUIAR	VIRGILIO TAVORA	2	0	0	1	1
62	VIRGILIO TAVORA	ANA BILHAR	4	0	0	0	4
63	SORIANO ALBUQUERQUE	STUDART	4	0	0	0	4
64	LEITE ALBUQUERQUE	VIRGILIO TAVORA	2	0	0	0	1
65	EDUARDO GARCIA	VIRGILIO TAVORA	3	0	0	0	3
66	JOVITA FEITOSA	LINO	2	0	0	1	1
67	JOVITA FEITOSA	JOSE DE BARCELOS	3	0	0	1	2
68	SANTOS DUMONT	JULIO AZEVEDO	11	0	0	2	9
69	RUI BARBOSA	JOAO CARVALHO	3	0	0	3	0
70	ANTONIO TOMAS	JOAQUIM NABUCO	3	0	0	0	3
71	OSVALDO CRUZ (ALDEOTA)	SANTOS DUMONT	7	0	0	3	4
72	SORIANO ALBUQUERQUE	RUI BARBOSA	13	0	0	3	10

APÊNDICE B: CONTINUAÇÃO

Id	Via1	Via2	Total	Mortos	Pedestres	Feridos	Ilesos
73	VALDEVINO	JOSE LOURENCO	4	0	0	0	4
74	VICENTE LINHARES	VIRGILIO TAVORA	2	0	0	1	1
75	CEARA	JOSE BASTOS	8	0	1	1	6
76	TOMAS ACIOLI	MOREIRA	5	0	0	0	5
77	FRANCISCO HOLANDA	MOREIRA	3	0	0	0	3
78	PONTES VIEIRA	BARBOSA DE FREITAS	8	0	0	2	6
79	CARLOS VASCONCELOS	VALDEVINO	7	0	0	3	4
80	JOSE VILAR	VALDEVINO	5	0	0	1	4
81	JULIO VENTURA	JOSE VILAR	5	0	0	0	5
82	SANTOS DUMONT	JOSE VILAR	3	0	0	1	2
83	SANTOS DUMONT	BATISTA DE OLIVEIRA	3	0	0	1	2
84	EDUARDO GARCIA	LEONARDO MOTA	1	0	0	0	1
85	ILDEFONSO ALBANO	SANTOS DUMONT	1	0	0	0	1
86	ILDEFONSO ALBANO	COSTA BARROS	1	0	0	0	1
87	ILDEFONSO ALBANO	BENEVOLO	5	0	0	0	5
88	TABOSA	ILDEFONSO ALBANO	5	0	0	4	1
89	VALDEVINO	ILDEFONSO ALBANO	4	0	1	1	2
90	ANTONIO SALES	ILDEFONSO ALBANO	6	0	0	2	4
91	PINTO MADEIRA	ILDEFONSO ALBANO	2	0	0	0	2
92	PEREIRA FILGUEIRAS	ILDEFONSO ALBANO	6	0	0	3	3
93	PAULA BARROS	ABOLICAO	3	0	0	1	2
94	CATAO	ANTONIO TOMAS	1	0	0	0	1
95	CARVALHO	PONTES VIEIRA	8	0	0	0	8
96	ANTONIO SALES	JOSE VILAR	9	0	0	0	9
97	JULIO VENTURA	SILVA PAULET	1	0	0	0	1
98	VICENTE LEITE	LUIS	6	0	0	0	6
99	LEONARDO MOTA	MARCOS MACEDO	2	0	0	2	0
100	BARBOSA DE FREITAS	ANTONIO SALES	4	0	0	0	4
101	MOREIRA	VICENTE LINHARES	1	0	0	1	0
102	BARBOSA DE FREITAS	VICENTE LINHARES	2	0	0	0	2
103	ALVES TEIXEIRA	STUDART	6	0	0	2	4
104	DA UNIVERSIDADE	JUVENAL GALENO	4	0	0	1	3
105	HENRIQUE SABOIA	ANTONIO TOMAS	10	0	1	3	6
106	GODOFREDO MACIEL	BENJAMIM BRASIL	23	1	0	4	18

APÊNDICE C: NÚMERO DE ACIDENTES OBSERVADOS POR SEVERIDADE NA AMOSTRA DO ESTUDO DE CASO PARA O ANO DE 2011.

Id	Via1	Via2	Total	Mortos	Pedestres	Feridos	llesos
1	HERACLITO GRACA	MANUEL	11	0	0	4	19
2	MANUEL	SANTOS DUMONT	8	0	4	3	9
3	MANUEL	COSTA BARROS	9	0	0	3	11
4	JUCA	SANTOS DUMONT	4	0	1	2	5
5	CARAPINIMA	13 DE MAIO	13	0	1	2	24
6	RUI BARBOSA	ANTONIO SALES	11	0	0	2	16
7	STUDART	ANTONIO SALES	14	0	2	3	32
8	MOREIRA	ANTONIO SALES	15	0	2	6	22
9	SANTOS DUMONT	STUDART	8	0	0	3	14
10	FRANCISCO SA	THEBERGE	12	0	2	6	19
11	LUIS	OSVALDO CRUZ (ALDEOTA)	5	0	0	2	7
12	PONTES VIEIRA	GUSTAVO	6	0	1	4	10
13	SANTOS DUMONT	MOREIRA	13	0	2	3	22
14	MANUEL	PINTO MADEIRA	7	0	2	2	7
15	13 DE MAIO	DA UNIVERSIDADE	18	0	1	4	39
16	SANTOS DUMONT	VINTE E CINCO DE MARCO	2	0	0	1	1
17	SANTOS DUMONT	VIRGILIO TAVORA	17	0	1	3	29
18	MANSUETO	ABOLICAO	8	0	0	0	10
19	JOAO CARVALHO	STUDART	4	0	0	5	4
20	ANTONIO SALES	JOSE LOURENCO	7	0	1	3	9
21	VIRGILIO TAVORA	ANTONIO SALES	8	0	0	4	19
22	ANTONIO TOMAS	MOREIRA	11	0	1	2	16
23	ANTONIO TOMAS	VIRGILIO TAVORA	6	0	0	2	9
24	ANTONIO SALES	JOAO CORDEIRO	2	0	0	0	4
25	DA UNIVERSIDADE	CICERO	14	0	2	6	18
26	LUIS	VIRGILIO TAVORA	9	0	1	3	19
27	STUDART	VALDEVINO	7	0	0	3	18
28	VALDEVINO	RUI BARBOSA	13	0	0	3	23
29	STUDART	PEREIRA FILGUEIRAS	6	0	0	2	9
30	FERNANDES TAVORA	LINEU MACHADO	4	0	0	4	10
31	SANTOS DUMONT	RUI BARBOSA	2	0	0	1	6
32	RUI BARBOSA	COSTA BARROS	5	0	0	3	6
33	DOS EXPEDICIONARIOS	SILAS MUNGUBA	22	0	0	8	36
34	MOREIRA	EDUARDO GARCIA	7	0	0	1	13
35	TIBURCIO CAVALCANTI	SANTOS DUMONT	10	0	0	1	16
36	VALDEVINO	TIBURCIO CAVALCANTI	6	0	0	0	7

APÊNDICE C: CONTINUAÇÃO

Id	Via1	Via2	Total	Mortos	Pedestres	Feridos	llesos
37	VALDEVINO	LEOPOLDINA	1	0	0	1	4
38	JOAO CORDEIRO	RAIMUNDO GIRAO	3	0	0	1	8
39	MOREIRA	LEITE ALBUQUERQUE	4	0	0	2	10
40	SANTOS DUMONT	LEONARDO MOTA	3	0	0	2	7
41	ABOLICAO	JULIO IBIAPINA	7	0	0	4	10
42	JOAO CORDEIRO	PEREIRA FILGUEIRAS	2	0	0	4	3
43	BENEVOLO	STUDART	8	0	0	1	16
44	BARBOSA DE FREITAS	SANTOS DUMONT	5	1	1	1	12
45	RUI BARBOSA	PEREIRA FILGUEIRAS	1	0	0	2	5
46	JOAO CORDEIRO	SANTOS DUMONT	2	0	0	1	3
47	OLIVEIRA PAIVA	GONZAGA	27	1	1	5	38
48	MOREIRA DA ROCHA	STUDART	3	0	0	1	5
49	TIBURCIO CAVALCANTI	TORRES CAMARA	3	0	0	1	3
50	MOREIRA	ISAC AMARAL	9	0	0	5	14
51	OSVALDO CRUZ (ALDEOTA)	ABOLICAO	8	1	0	2	15
52	TIBURCIO CAVALCANTI	ABOLICAO	3	0	0	3	9
53	BARBOSA DE FREITAS	ANTONIO TOMAS	5	0	0	3	4
54	LEONARDO MOTA	ANTONIO TOMAS	1	0	0	2	4
55	CARLOS VASCONCELOS	TORRES CAMARA	7	0	0	0	9
56	SANTOS DUMONT	CARLOS VASCONCELOS	5	0	0	1	7
57	OSVALDO CRUZ (ALDEOTA)	ANTONIO TOMAS	3	0	0	0	7
58	LEONARDO MOTA	LUIS	8	0	0	3	9
59	MOREIRA	CANUTO DE AGUIAR	4	0	0	4	2
60	ANA BILHAR	MOREIRA	4	0	0	2	7
61	CANUTO DE AGUIAR	VIRGILIO TAVORA	3	0	0	2	3
62	VIRGILIO TAVORA	ANA BILHAR	6	0	0	1	9
63	SORIANO ALBUQUERQUE	STUDART	3	0	0	0	7
64	LEITE ALBUQUERQUE	VIRGILIO TAVORA	6	0	0	2	5
65	EDUARDO GARCIA	VIRGILIO TAVORA	2	0	0	0	5
66	JOVITA FEITOSA	LINO	4	0	0	2	4
67	JOVITA FEITOSA	JOSE DE BARCELOS	6	0	0	2	7
68	SANTOS DUMONT	JULIO AZEVEDO	4	0	0	2	13
69	RUI BARBOSA	JOAO CARVALHO	6	1	0	3	5
70	ANTONIO TOMAS	JOAQUIM NABUCO	2	0	0	0	5
71	OSVALDO CRUZ (ALDEOTA)	SANTOS DUMONT	6	0	0	4	9
72	SORIANO ALBUQUERQUE	RUI BARBOSA	4	0	0	5	12

APÊNDICE C: CONTINUAÇÃO

Id	Via1	Via2	Total	Mortos	Pedestres	Feridos	Ilesos
73	VALDEVINO	JOSE LOURENCO	1	0	0	0	5
74	VICENTE LINHARES	VIRGILIO TAVORA	4	0	0	1	5
75	CEARA	JOSE BASTOS	5	0	1	1	11
76	TOMAS ACIOLI	MOREIRA	4	0	0	2	7
77	FRANCISCO HOLANDA	MOREIRA	5	0	0	1	7
78	PONTES VIEIRA	BARBOSA DE FREITAS	7	0	0	4	11
79	CARLOS VASCONCELOS	VALDEVINO	2	0	0	3	6
80	JOSE VILAR	VALDEVINO	2	0	0	2	5
81	JULIO VENTURA	JOSE VILAR	8	0	0	2	11
82	SANTOS DUMONT	JOSE VILAR	6	0	1	2	6
83	SANTOS DUMONT	BATISTA DE OLIVEIRA	4	0	0	1	6
84	EDUARDO GARCIA	LEONARDO MOTA	1	0	0	0	2
85	ILDEFONSO ALBANO	SANTOS DUMONT	1	0	0	0	2
86	ILDEFONSO ALBANO	COSTA BARROS	2	0	0	1	2
87	ILDEFONSO ALBANO	BENEVOLO	3	0	0	1	7
88	TABOSA	ILDEFONSO ALBANO	3	0	0	4	4
89	VALDEVINO	ILDEFONSO ALBANO	4	0	1	4	3
90	ANTONIO SALES	ILDEFONSO ALBANO	4	0	0	2	8
91	PINTO MADEIRA	ILDEFONSO ALBANO	2	0	0	0	4
92	PEREIRA FILGUEIRAS	ILDEFONSO ALBANO	6	0	0	4	8
93	PAULA BARROS	ABOLICAO	4	0	0	2	5
94	CATAO	ANTONIO TOMAS	3	0	0	0	4
95	CARVALHO	PONTES VIEIRA	7	0	0	2	13
96	ANTONIO SALES	JOSE VILAR	1	0	0	0	10
97	JULIO VENTURA	SILVA PAULET	5	0	0	1	5
98	VICENTE LEITE	LUIS	3	0	0	2	7
99	LEONARDO MOTA	MARCOS MACEDO	1	0	0	2	1
100	BARBOSA DE FREITAS	ANTONIO SALES	4	0	0	0	8
101	MOREIRA	VICENTE LINHARES	8	0	0	4	5
102	BARBOSA DE FREITAS	VICENTE LINHARES	4	0	0	0	6
103	ALVES TEIXEIRA	STUDART	7	0	0	2	11
104	DA UNIVERSIDADE	JUVENAL GALENO	4	0	0	2	6
105	HENRIQUE SABOIA	ANTONIO TOMAS	7	0	3	6	8
106	GODOFREDO MACIEL	BENJAMIM BRASIL	23	1	1	7	37

APÊNDICE D: VOLUMES DIÁRIOS MÉDIOS MENSAIS ESTIMADOS PARA O ESTUDO DE CASO DOS ANOS DE 2009, 2010 E 2011.

Id	Via1	Via2	Erro	Ano inválido	Ano útil	VDMA 2009	VDMA 2010	VDMA 2011	VDMA 2013
1	HERACLITO GRACA	MANUEL	Erro I	2011		55354	55345	57564	56107
2	MANUEL	SANTOS DUMONT				41436	40302	40885	26101
3	MANUEL	COSTA BARROS				39597	43613	40930	25099
4	JUCA	SANTOS DUMONT				34979	34227	34652	23016
5	CARAPINIMA	13 DE MAIO	Erro III			63902	62611	63902	64547
6	RUI BARBOSA	ANTONIO SALES				43725	44148	40599	43891
7	STUDART	ANTONIO SALES				53040	51128	48140	50825
8	MOREIRA	ANTONIO SALES	Erro I	2009		60450	58155	59804	43296
9	SANTOS DUMONT	STUDART	Erro I	2011		41627	41201	43070	27092
10	FRANCISCO SA	THEBERGE	Erro II		2011	34178	33173	33508	32692
11	LUIS	OSVALDO CRUZ (ALDEOTA)	Erro I	2009		26873	26131	26305	23888
12	PONTES VIEIRA	GUSTAVO	Erro I	2009		38064	42308	31913	48107
13	SANTOS DUMONT	MOREIRA	Erro I	2009		72015	76284	64175	54123
14	MANUEL	PINTO MADEIRA				37727	36689	39110	36989
15	13 DE MAIO	DA UNIVERSIDADE	Erro I	2009		58411	57372	56597	56228
16	SANTOS DUMONT	VINTE E CINCO DE MARCO				17728	15054	15750	14415
17	SANTOS DUMONT	VIRGILIO TAVORA				56800	54259	56305	54165
18	MANSUETO	ABOLICAO	Erro II		2011	24413	23695	23934	33292
19	JOAO CARVALHO	STUDART	Erro I	2009		41237	40270	40192	40064
20	ANTONIO SALES	JOSE LOURENCO				41649	38471	36685	37670
21	VIRGILIO TAVORA	ANTONIO SALES				56456	54080	55269	21483
22	ANTONIO TOMAS	MOREIRA				52308	50575	50591	54672
23	ANTONIO TOMAS	VIRGILIO TAVORA	Erro II		2010	55357	53745	55895	56870
24	ANTONIO SALES	JOAO CORDEIRO				34484	33222	23041	19104
25	DA UNIVERSIDADE	CICERO				44774	36872	38940	21142
26	LUIS	VIRGILIO TAVORA	Erro I	2010		58364	59092	59834	60066
27	STUDART	VALDEVINO				45891	45130	38135	44619
28	VALDEVINO	RUI BARBOSA				32259	29746	32150	32831
29	STUDART	PEREIRA FILGUEIRAS				35119	34121	34784	36932
30	FERNANDES TAVORA	LINEU MACHADO				41640	44238	43753	48344
31	SANTOS DUMONT	RUI BARBOSA				29788	30069	26988	31460
32	RUI BARBOSA	COSTA BARROS	Erro I	2009		22118	24019	19114	24412
33	DOS EXPEDICIONARIOS	SILAS MUNGUBA	Erro I	2011		59863	60369	62520	26218
34	MOREIRA	EDUARDO GARCIA	Erro II		2010	27752	26943	28021	38684
35	TIBURCIO CAVALCANTI	SANTOS DUMONT	Erro I	2009		36953	35926	36179	34609
36	VALDEVINO	TIBURCIO CAVALCANTI				29654	28051	21647	23836

APÊNDICE D: CONTINUAÇÃO.

Id	Via1	Via2	Erro	Ano inválido	Ano útil	VDMA 2009	VDMA 2010	VDMA 2011	VDMA 2013
37	VALDEVINO	LEOPOLDINA	Erro I	2011		23035	23621	24261	6206
38	JOAO CORDEIRO	RAIMUNDO GIRAO	Erro I	2010		30439	32750	35108	38596
39	MOREIRA	LEITE ALBUQUERQUE				37736	59012	49058	22487
40	SANTOS DUMONT	LEONARDO MOTA				40712	40752	42201	40566
41	ABOLICAO	JULIO IBIAPINA	Erro II		2011	49533	48076	48561	45850
42	JOAO CORDEIRO	PEREIRA FILGUEIRAS				18250	18573	20277	21361
43	BENEVOLO	STUDART				32286	32435	35204	33746
44	BARBOSA DE FREITAS	SANTOS DUMONT	Erro I	2009		43263	46491	37882	38583
45	RUI BARBOSA	PEREIRA FILGUEIRAS				20451	22985	24450	25842
46	JOAO CORDEIRO	SANTOS DUMONT				26502	26076	22189	26297
47	OLIVEIRA PAIVA	GONZAGA	Erro I	2009		56663	51393	59208	39685
48	MOREIRA DA ROCHA	STUDART	Erro I	2011		32561	34443	34842	37250
49	TIBURCIO CAVALCANTI	TORRES CAMARA	Erro III			24555	24059	24555	24803
50	MOREIRA	ISAC AMARAL	Erro II		2009	32815	33143	34128	28110
51	OSVALDO CRUZ (ALDEOTA)	ABOLICAO	Erro I	2010		48502	47432	46341	28684
52	TIBURCIO CAVALCANTI	ABOLICAO				50198	53027	52734	48802
53	BARBOSA DE FREITAS	ANTONIO TOMAS	Erro I	2011		38472	36755	39118	26747
54	LEONARDO MOTA	ANTONIO TOMAS	Erro I	2010		39890	35926	31883	40619
55	CARLOS VASCONCELOS	TORRES CAMARA				23155	22241	25231	24351
56	SANTOS DUMONT	CARLOS VASCONCELOS				25624	24699	26726	21896
57	OSVALDO CRUZ (ALDEOTA)	ANTONIO TOMAS	Erro I	2009		34401	32103	35036	36626
58	LEONARDO MOTA	LUIS				42731	42277	42849	62156
59	MOREIRA	CANUTO DE AGUIAR				35496	36401	38339	37830
60	ANA BILHAR	MOREIRA				36923	38088	38507	33111
61	CANUTO DE AGUIAR	VIRGILIO TAVORA	Erro I	2010		39390	39942	40505	40796
62	VIRGILIO TAVORA	ANA BILHAR	Erro I	2010		38429	39093	39770	39227
63	SORIANO ALBUQUERQUE	STUDART				29188	24686	20527	23434
64	LEITE ALBUQUERQUE	VIRGILIO TAVORA	Erro I	2009		42510	40200	42758	42486
65	EDUARDO GARCIA	VIRGILIO TAVORA				40003	39206	40218	34783
66	JOVITA FEITOSA	LINO	Erro II		2010	29265	28413	29549	33469
67	JOVITA FEITOSA	JOSE DE BARCELOS	Erro III			14101	13816	14101	14244
68	SANTOS DUMONT	JULIO AZEVEDO	Erro II		2011	44221	42921	43354	43913
69	RUI BARBOSA	JOAO CARVALHO				19846	23126	24375	24306
70	ANTONIO TOMAS	JOAQUIM NABUCO	Erro I	2009		37783	38747	34958	29879
71	OSVALDO CRUZ (ALDEOTA)	SANTOS DUMONT	Erro I	2009		52600	58636	43926	34721
72	SORIANO ALBUQUERQUE	RUI BARBOSA	Erro I	2009		26786	24909	27369	26023

APÊNDICE D: CONTINUAÇÃO.

Id	Via1	Via2	Erro	Ano inválido	Ano útil	VDMA 2009	VDMA 2010	VDMA 2011	VDMA 2013
73	VALDEVINO	JOSE LOURENCO				24766	24206	21213	
74	VICENTE LINHARES	VIRGILIO TAVORA	Erro I	2010		32764	32883	33005	
75	CEARA	JOSE BASTOS	Erro I	2010		51571	50811	50035	
76	TOMAS ACIOLI	MOREIRA				31095	33119	33913	
77	FRANCISCO HOLANDA	MOREIRA	Erro I	2009		31622	28921	32800	
78	PONTES VIEIRA	BARBOSA DE FREITAS				34889	32698	28890	13685
79	CARLOS VASCONCELOS	VALDEVINO	Erro I	2009		27673	26345	27658	8716
80	JOSE VILAR	VALDEVINO	Erro I	2009		25375	27751	21732	28613
81	JULIO VENTURA	JOSE VILAR	Erro II		2011	30940	30030	30334	33396
82	SANTOS DUMONT	JOSE VILAR				31633	29576	31145	30094
83	SANTOS DUMONT	BATISTA DE OLIVEIRA	Erro I	2009		41624	39242	41989	28265
84	EDUARDO GARCIA	LEONARDO MOTA	Erro I	2009		25112	23701	25306	24399
85	ILDEFONSO ALBANO	SANTOS DUMONT				25073	25202	25822	26639
86	ILDEFONSO ALBANO	COSTA BARROS				25596	26204	23672	26491
87	ILDEFONSO ALBANO	BENEVOLO	Erro I	2011		19916	18321	19883	19729
88	TABOSA	ILDEFONSO ALBANO	Erro I	2010		26262	27430	28621	25841
89	VALDEVINO	ILDEFONSO ALBANO				29060	29844	28917	28266
90	ANTONIO SALES	ILDEFONSO ALBANO				39159	38802	40794	29540
91	PINTO MADEIRA	ILDEFONSO ALBANO				21799	22141	22880	22936
92	PEREIRA FILGUEIRAS	ILDEFONSO ALBANO	Erro II		2011	23067	22388	22615	19946
93	PAULA BARROS	ABOLICAO	Erro I	2010		38992	38943	38892	40057
94	CATAO	ANTONIO TOMAS				33711	32566	34786	37878
95	CARVALHO	PONTES VIEIRA	Erro I	2011		44542	45355	46747	46297
96	ANTONIO SALES	JOSE VILAR	Erro II		2011	40380	39192	39588	27877
97	JULIO VENTURA	SILVA PAULET				29348	29632	30397	32706
98	VICENTE LEITE	LUIS				40337	39874	40506	43431
99	LEONARDO MOTA	MARCOS MACEDO	Erro I	2009		20127	21659	17592	22156
100	BARBOSA DE FREITAS	ANTONIO SALES				40281	36112	33930	20918
101	MOREIRA	VICENTE LINHARES				33588	33350	36254	34736
102	BARBOSA DE FREITAS	VICENTE LINHARES				16553	16516	18119	20905
103	ALVES TEIXEIRA	STUDART	Erro I	2009		30091	30071	28635	28980
104	DA UNIVERSIDADE	JUVENAL GALENO	Erro I	2009		34049	33931	32499	30049
105	HENRIQUE SABOIA	ANTONIO TOMAS	Erro II		2011	44546	43236	43672	56675
106	GODOFREDO MACIEL	BENJAMIM BRASIL	Erro I	2010		64966	63795	62600	45596

**APÊNDICE E: RESULTADOS DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO PARA AMOSTRA
DE INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS.**

Id	Via1	Via2	nfx	FMA	TAC	UPS	TCR	MM	NSS	EMPA	EB	EEB
1	HERACLITO GRACA	MANUEL	8	14,3	0,7	67,0	0,67	5,5	II	-2,0	14,5	-1,9
2	MANUEL	SANTOS DUMONT	6	8,7	0,6	44,0	0,70	1,3	III	0,7	8,5	0,6
3	MANUEL	COSTA BARROS	6	7,7	0,5	52,0	0,70	0,6	II	-0,3	7,7	-0,3
4	JUCA	SANTOS DUMONT	6	5,0	0,4	18,0	0,72	-1,3	II	-2,3	5,4	-1,9
5	CARAPINIMA	13 DE MAIO	10	13,0	0,6	78,0	0,66	4,5	II	-17,5	13,8	-16,7
6	RUI BARBOSA	ANTONIO SALES	6	10,0	0,6	99,0	0,70	2,3	III	1,9	9,7	1,6
7	STUDART	ANTONIO SALES	7	16,3	0,9	95,0	0,68	7,0	III	4,6	15,8	4,1
8	MOREIRA	ANTONIO SALES	7	17,7	0,8	101,0	0,67	8,0	III	4,9	17,2	4,4
9	SANTOS DUMONT	STUDART	6	7,7	0,5	40,0	0,70	0,6	II	-0,4	7,7	-0,3
10	FRANCISCO SA	THEBERGE	8	17,3	1,4	107,0	0,72	7,7	III	4,8	16,8	4,3
11	LUIS	OSVALDO CRUZ (ALDEOTA)	6	5,0	0,5	32,0	0,75	-1,3	II	-1,3	5,3	-1,1
12	PONTES VIEIRA	GUSTAVO	6	9,0	0,7	75,0	0,71	1,6	III	1,4	8,8	1,2
13	SANTOS DUMONT	MOREIRA	8	15,0	0,6	90,0	0,66	6,0	II	-3,5	15,3	-3,2
14	MANUEL	PINTO MADEIRA	6	6,0	0,4	42,0	0,71	-0,6	II	-1,6	6,3	-1,4
15	13 DE MAIO	DA UNIVERSIDADE	8	23,0	1,1	132,0	0,67	11,9	III	6,4	22,5	5,9
16	SANTOS DUMONT	VINTE E CINCO DE MARCO	4	1,7	0,3	14,0	0,82	-3,8	II	-1,1	2,1	-0,7
17	SANTOS DUMONT	VIRGILIO TAVORA	8	13,7	0,7	101,0	0,68	5,0	II	-2,6	13,9	-2,4
18	MANSUETO	ABOLICAO	8	5,7	0,6	34,0	0,77	-0,9	II	-4,9	6,3	-4,3
19	JOAO CARVALHO	STUDART	6	5,0	0,3	46,0	0,70	-1,3	II	-2,9	5,5	-2,4
20	ANTONIO SALES	JOSE LOURENCO	5	5,7	0,4	47,0	0,71	-0,9	II	-0,2	5,7	-0,1
21	VIRGILIO TAVORA	ANTONIO SALES	7	12,0	0,6	76,0	0,68	3,8	II	-0,3	12,0	-0,2
22	ANTONIO TOMAS	MOREIRA	8	8,0	0,4	55,0	0,68	0,9	II	-7,6	8,7	-6,9
23	ANTONIO TOMAS	VIRGILIO TAVORA	8	5,0	0,2	40,0	0,68	-1,3	II	-11,2	5,9	-10,3
24	ANTONIO SALES	JOAO CORDEIRO	5	3,0	0,3	23,0	0,74	-2,8	II	-2,1	3,5	-1,6
25	DA UNIVERSIDADE	CICERO	7	15,7	1,1	126,0	0,71	6,5	III	5,3	15,0	4,6
26	LUIS	VIRGILIO TAVORA	8	11,3	0,5	63,0	0,67	3,3	II	-5,5	11,8	-5,0
27	STUDART	VALDEVINO	6	10,3	0,7	83,0	0,70	2,6	III	2,2	10,0	1,9
28	VALDEVINO	RUI BARBOSA	5	10,7	0,9	65,0	0,73	2,8	IV	5,4	9,5	4,2
29	STUDART	PEREIRA FILGUEIRAS	6	6,7	0,5	40,0	0,72	-0,1	II	-0,6	6,8	-0,5
30	FERNANDES TAVORA	LINEU MACHADO	8	10,7	0,7	78,0	0,70	2,8	II	-3,6	11,0	-3,3
31	SANTOS DUMONT	RUI BARBOSA	5	5,7	0,5	48,0	0,74	-0,9	III	0,7	5,5	0,5
32	RUI BARBOSA	COSTA BARROS	5	3,3	0,4	33,0	0,78	-2,6	II	-1,0	3,6	-0,7
33	DOS EXPEDICIONARIOS	SILAS MUNGUBA	12	30,3	1,4	266,0	0,67	17,2	II	-22,0	30,9	-21,4
34	MOREIRA	EDUARDO GARCIA	6	7,7	0,8	76,0	0,75	0,6	III	1,2	7,4	1,0
35	TIBURCIO CAVALCANTI	SANTOS DUMONT	6	8,0	0,6	59,0	0,72	0,9	III	0,5	7,9	0,5
36	VALDEVINO	TIBURCIO CAVALCANTI	4	4,7	0,5	25,0	0,75	-1,6	III	1,1	4,4	0,8

APÊNDICE E: CONTINUAÇÃO.

Id	Via1	Via2	nfx	FMA	TAC	UPS	TCR	MM	NSS	EMPA	EB	EEB
37	VALDEVINO	LEOPOLDINA	4	2,7	0,3	22,0	0,77	-3,1	II	-0,7	2,9	-0,5
38	JOAO CORDEIRO	RAIMUNDO GIRAO	6	4,3	0,4	27,0	0,73	-1,8	II	-2,7	4,8	-2,3
39	MOREIRA	LEITE ALBUQUERQUE	6	7,7	0,4	65,0	0,69	0,6	II	-1,0	7,8	-0,8
40	SANTOS DUMONT	LEONARDO MOTA	6	7,0	0,5	61,0	0,70	0,1	II	-1,0	7,2	-0,8
41	ABOLICAO	JULIO IBIAPINA	10	6,7	0,4	66,0	0,69	-0,1	I	-20,0	7,7	-18,9
42	JOAO CORDEIRO	PEREIRA FILGUEIRAS	4	4,0	0,6	34,0	0,80	-2,1	III	1,0	3,7	0,6
43	BENEVOLO	STUDART	6	7,3	0,6	62,0	0,73	0,4	III	0,2	7,3	0,2
44	BARBOSA DE FREITAS	SANTOS DUMONT	6	7,7	0,5	56,0	0,70	0,6	II	-0,4	7,7	-0,4
45	RUI BARBOSA	PEREIRA FILGUEIRAS	5	4,0	0,5	23,0	0,77	-2,1	II	-0,4	4,1	-0,3
46	JOAO CORDEIRO	SANTOS DUMONT	4	2,7	0,3	19,0	0,76	-3,1	II	-0,8	2,9	-0,6
47	OLIVEIRA PAIVA	GONZAGA	8	19,7	1,0	175,0	0,68	9,4	III	3,4	19,4	3,1
48	MOREIRA DA ROCHA	STUDART	6	3,3	0,3	24,0	0,72	-2,6	II	-3,9	4,0	-3,2
49	TIBURCIO CAVALCANTI	TORRES CAMARA	4	2,3	0,3	29,0	0,76	-3,3	II	-1,1	2,7	-0,8
50	MOREIRA	ISAC AMARAL	8	10,3	0,8	76,0	0,72	2,6	II	-2,2	10,6	-1,9
51	OSVALDO CRUZ (ALDEOTA)	ABOLICAO	8	10,7	0,6	49,0	0,69	2,8	II	-4,3	11,1	-3,9
52	TIBURCIO CAVALCANTI	ABOLICAO	8	6,7	0,4	35,0	0,68	-0,1	II	-9,1	7,5	-8,3
53	BARBOSA DE FREITAS	ANTONIO TOMAS	6	3,7	0,3	35,0	0,71	-2,3	II	-4,0	4,3	-3,3
54	LEONARDO MOTA	ANTONIO TOMAS	6	4,0	0,3	32,0	0,72	-2,1	II	-3,4	4,6	-2,8
55	CARLOS VASCONCELOS	TORRES CAMARA	4	4,3	0,5	48,0	0,76	-1,8	III	0,9	4,0	0,7
56	SANTOS DUMONT	CARLOS VASCONCELOS	4	3,7	0,4	36,0	0,72	-2,3	III	0,1	3,6	0,1
57	OSVALDO CRUZ (ALDEOTA)	ANTONIO TOMAS	6	4,3	0,4	37,0	0,70	-1,8	II	-2,9	4,8	-2,4
58	LEONARDO MOTA	LUIS	6	7,0	0,4	41,0	0,71	0,1	II	-1,1	7,2	-0,9
59	MOREIRA	CANUTO DE AGUIAR	6	3,0	0,2	15,0	0,71	-2,8	II	-4,5	3,7	-3,8
60	ANA BILHAR	MOREIRA	6	5,0	0,4	35,0	0,71	-1,3	II	-2,6	5,4	-2,2
61	CANUTO DE AGUIAR	VIRGILIO TAVORA	6	2,7	0,2	17,0	0,71	-3,1	II	-5,2	3,5	-4,3
62	VIRGILIO TAVORA	ANA BILHAR	6	4,3	0,3	21,0	0,76	-1,8	II	-3,4	4,9	-2,9
63	SORIANO ALBUQUERQUE	STUDART	8	3,7	0,4	28,0	0,70	-2,3	II	-7,0	4,5	-6,2
64	LEITE ALBUQUERQUE	VIRGILIO TAVORA	6	4,3	0,3	31,0	0,71	-1,8	II	-3,7	4,9	-3,1
65	EDUARDO GARCIA	VIRGILIO TAVORA	6	2,0	0,1	6,0	0,74	-3,5	I	-5,8	2,9	-4,9
66	JOVITA FEITOSA	LINO	6	3,0	0,3	30,0	0,85	-2,8	II	-3,6	3,7	-3,0
67	JOVITA FEITOSA	JOSE DE BARCELOS	6	4,3	0,8	16,0	0,70	-1,8	II	-0,2	4,4	-0,2
68	SANTOS DUMONT	JULIO AZEVEDO	6	6,7	0,4	40,0	0,77	-0,1	II	-1,5	6,9	-1,3
69	RUI BARBOSA	JOAO CARVALHO	5	4,0	0,5	30,0	0,71	-2,1	II	-0,4	4,1	-0,3
70	ANTONIO TOMAS	JOAQUIM NABUCO	6	2,3	0,2	13,0	0,68	-3,3	II	-5,2	3,2	-4,4
71	OSVALDO CRUZ (ALDEOTA)	SANTOS DUMONT	6	6,3	0,3	45,0	0,75	-0,4	II	-2,6	6,7	-2,2
72	SORIANO ALBUQUERQUE	RUI BARBOSA	4	8,7	0,9	74,0	0,75	1,3	IV	5,1	7,2	3,6

APÊNDICE E: CONTINUAÇÃO.

Id	Via1	Via2	nfx	FMA	TAC	UPS	TCR	MM	NSS	EMPA	EB	EEB
73	VALDEVINO	JOSE LOURENCO	4	3,0	0,4	24,0	0,73	-2,8	II	-0,4	3,1	-0,3
74	VICENTE LINHARES	VIRGILIO TAVORA	6	2,7	0,2	16,0	0,68	-3,1	II	-4,4	3,4	-3,6
75	CEARA	JOSE BASTOS	8	8,3	0,4	50,0	0,73	1,1	II	-7,2	9,0	-6,6
76	TOMAS ACIOLI	MOREIRA	6	3,7	0,3	21,0	0,73	-2,3	II	-3,4	4,3	-2,8
77	FRANCISCO HOLANDA	MOREIRA	6	4,7	0,4	41,0	0,73	-1,6	II	-2,2	5,1	-1,8
78	PONTES VIEIRA	BARBOSA DE FREITAS	6	7,7	0,7	69,0	0,75	0,6	III	0,7	7,5	0,6
79	CARLOS VASCONCELOS	VALDEVINO	4	4,0	0,4	20,0	0,76	-2,1	III	0,3	3,9	0,2
80	JOSE VILAR	VALDEVINO	4	4,3	0,5	30,0	0,74	-1,8	III	0,8	4,1	0,6
81	JULIO VENTURA	JOSE VILAR	6	5,7	0,5	36,0	0,73	-0,9	II	-1,1	5,9	-0,9
82	SANTOS DUMONT	JOSE VILAR	4	5,7	0,5	35,0	0,70	-0,9	III	1,8	5,2	1,3
83	SANTOS DUMONT	BATISTA DE OLIVEIRA	6	5,3	0,4	41,0	0,76	-1,1	II	-2,6	5,7	-2,2
84	EDUARDO GARCIA	LEONARDO MOTA	4	2,3	0,3	20,0	0,76	-3,3	II	-1,2	2,7	-0,8
85	ILDEFONSO ALBANO	SANTOS DUMONT	4	2,0	0,2	15,0	0,76	-3,5	II	-1,5	2,5	-1,1
86	ILDEFONSO ALBANO	COSTA BARROS	4	2,3	0,3	13,0	0,80	-3,3	II	-1,2	2,7	-0,8
87	ILDEFONSO ALBANO	BENEVOLO	4	5,3	0,8	35,0	0,75	-1,1	IV	2,3	4,6	1,5
88	TABOSA	ILDEFONSO ALBANO	5	4,3	0,4	33,0	0,74	-1,8	II	-0,5	4,5	-0,4
89	VALDEVINO	ILDEFONSO ALBANO	4	3,0	0,3	19,0	0,71	-2,8	II	-0,8	3,2	-0,6
90	ANTONIO SALES	ILDEFONSO ALBANO	5	4,7	0,3	27,0	0,78	-1,6	II	-1,2	4,9	-1,0
91	PINTO MADEIRA	ILDEFONSO ALBANO	4	2,0	0,2	19,0	0,78	-3,5	II	-1,3	2,4	-0,9
92	PEREIRA FILGUEIRAS	ILDEFONSO ALBANO	4	5,3	0,6	57,0	0,77	-1,1	III	2,0	4,7	1,4
93	PAULA BARROS	ABOLICAO	8	4,7	0,3	26,0	0,71	-1,6	II	-8,9	5,5	-8,0
94	CATAO	ANTONIO TOMAS	6	3,3	0,3	16,0	0,72	-2,6	II	-3,8	4,0	-3,2
95	CARVALHO	PONTES VIEIRA	6	7,3	0,4	50,0	0,69	0,4	II	-1,1	7,5	-0,9
96	ANTONIO SALES	JOSE VILAR	5	4,3	0,3	35,0	0,71	-1,8	II	-1,6	4,6	-1,3
97	JULIO VENTURA	SILVA PAULET	6	3,3	0,3	10,0	0,74	-2,6	II	-3,4	3,9	-2,8
98	VICENTE LEITE	LUIS	6	4,7	0,3	43,0	0,70	-1,6	II	-3,2	5,2	-2,7
99	LEONARDO MOTA	MARCOS MACEDO	4	1,7	0,2	8,0	0,79	-3,8	II	-1,4	2,1	-1,0
100	BARBOSA DE FREITAS	ANTONIO SALES	5	3,3	0,2	13,0	0,71	-2,6	II	-2,3	3,8	-1,8
101	MOREIRA	VICENTE LINHARES	6	4,0	0,3	38,0	0,72	-2,1	II	-3,2	4,6	-2,7
102	BARBOSA DE FREITAS	VICENTE LINHARES	4	3,0	0,5	20,0	0,82	-2,8	III	0,1	3,0	0,1
103	ALVES TEIXEIRA	STUDART	6	5,3	0,5	37,0	0,74	-1,1	II	-1,4	5,6	-1,1
104	DA UNIVERSIDADE	JUVENAL GALENO	5	3,3	0,3	24,0	0,72	-2,6	II	-2,1	3,8	-1,6
105	HENRIQUE SABOIA	ANTONIO TOMAS	8	10,0	0,6	107,0	0,70	2,3	II	-4,4	10,4	-4,0
106	GODOFREDO MACIEL	BENJAMIM BRASIL	11	24,7	1,1	194,0	0,66	13,1	II	-15,9	25,2	-15,3

ANEXOS

ANEXO A: FATORES DE EXPANSÃO E ESTIMAÇÃO DO VOLUME DIÁRIO MÉDIO ANUAL (VDMA)

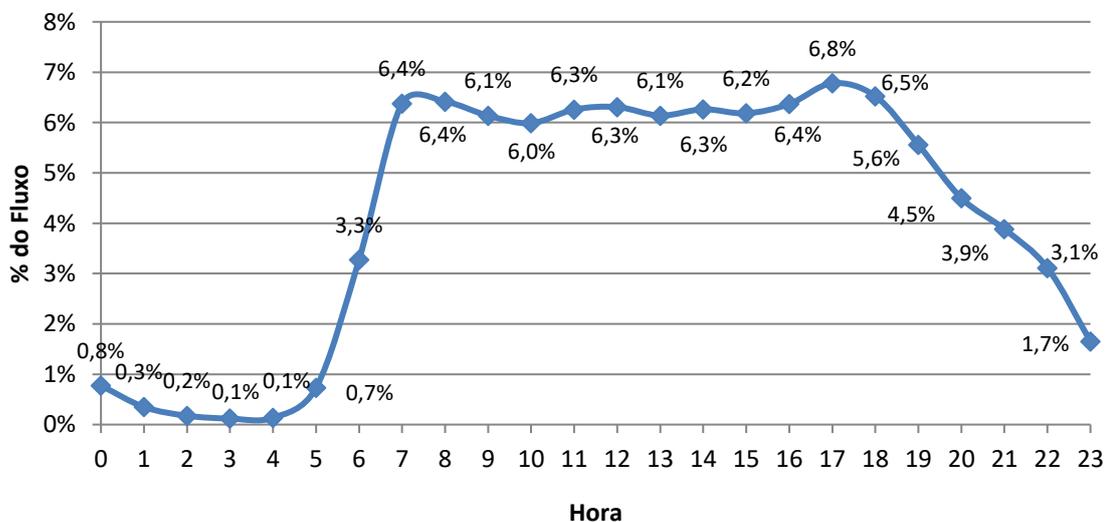
A presente pesquisa se apoiou nos resultados apresentados no Relatório de Modelagem no Apoio à Decisão no Planejamento, Operação e Gestão dos Sistemas de Transporte Público e de Circulação Viária de Fortaleza (ASTEF/UFC, 2015), desenvolvida pela Universidade Federal do Ceará em parceria com a Prefeitura de Fortaleza (PMF).

Nesse relatório foi desenvolvida a consolidação de um banco de dados de volumes de tráfego que integrasse as contagens contínuas de laços detectores do CTAFOR. Esse banco, além de reunir todas essas informações, verifica a qualidade dos dados, através do reconhecimento de valores errôneos e/ou perdidos, a partir de rotinas que identifiquem, controlem e filtrem essas possíveis inconsistências.

O banco de dados permitiu a estimação do Volume Diário Médio Anual (VDMA) e fatores de expansão (horário, diário e mensal) para os segmentos de vias com contagens disponíveis. Foram utilizadas as informações de 367 laços detectores, referentes ao ano de 2013, para a estimação do perfil do fluxo bem como dos fatores de expansão.

O comportamento da demanda ao longo do dia é um aspecto importante para identificação das horas em que a rede viária é mais solicitada. Foram utilizadas as contagens do mês de outubro, considerando somente os dias úteis, para a estimação do percentual do fluxo veicular ao longo do dia. A Figura A.1 apresenta os resultados do exposto.

Figura A.1 - Distribuição percentual do fluxo veicular por faixa horária – CTAFOR.



Fonte: ASTEF/UFC, 2015

A partir dos percentuais dos fluxos apresentados é possível estimar o Volume diário (VD) para qualquer volume horário (VH) de um dia útil, como mostra a Equação A.1.

$$VD = \frac{VH}{\% \text{ do Fluxo}} \quad (I.1)$$

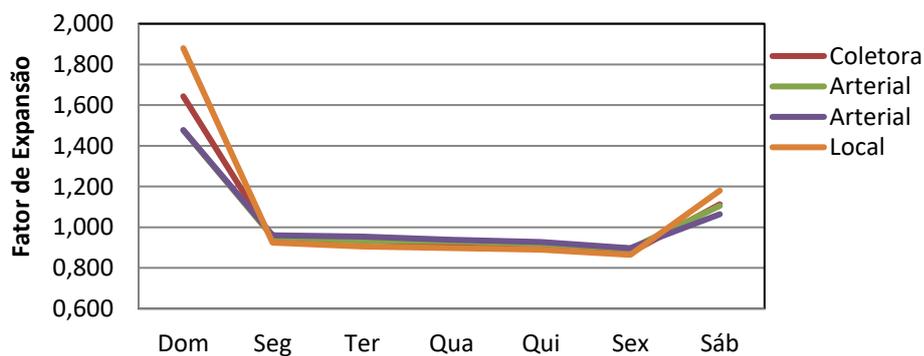
As informações disponíveis após a consolidação dos registros dos equipamentos do CTAFOR foram utilizadas para estimar fatores de expansão diários e fatores de expansão mensais. Utilizaram-se equipamentos que apresentaram pelo menos uma semana completa de informação sobre o fluxo veicular para os meses de análise, os quais corresponderam a 367 laços detectores do CTAFOR. A Tabela A.1 apresenta os valores médios dos fatores de expansão diários para os equipamentos do CTAFOR. O gráfico da Figura A.2 apresenta a visualização dos fatores médios de expansão ao longo da semana.

Tabela A.1 - Valores médios dos fatores de expansão diários por classe da via - CTAFOR

Classe Funcional	# Equip.	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb
Expressa	31	1,15	0,996	1,007	0,992	0,989	0,938	0,959
Arterial	90	1,36	0,97	0,971	0,954	0,945	0,913	1,020
Coletora	6	1,29	0,974	0,978	0,964	0,965	0,919	0,990
Local	10	1,47	0,953	0,952	0,943	0,938	0,897	1,064
Média		1,32	0,97	0,98	0,96	0,96	0,92	1,01

Fonte: ASTEF/UFC, 2015

Tabela A.2 - Fatores de expansão diários – CTAFOR



Fonte: ASTEF/UFC, 2015

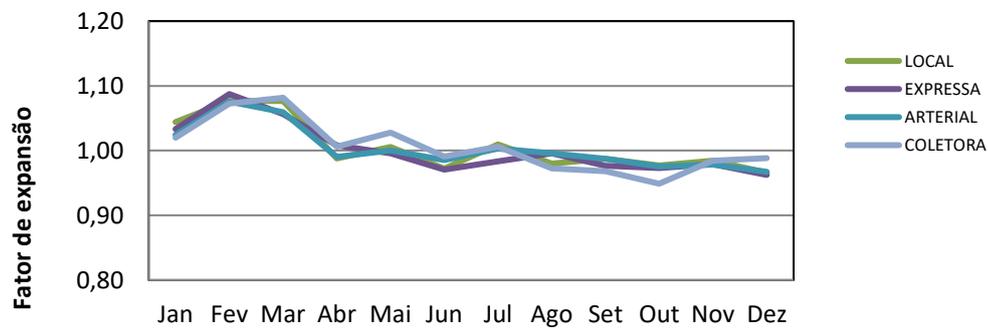
A Tabela A.2 apresenta os valores médios dos fatores de expansão mensais para os equipamentos do CTAFOR. O gráfico da Figura A.3 ilustra a visualização dos fatores médios de expansão ao longo dos meses.

Tabela A.2 - Valores médios dos fatores de expansão mensais por classe da via - CTAFOR

Classe Funcional	Equip.	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
EXPRESSA	4	1,033	1,087	1,057	1,008	0,996	0,971	0,984	0,996	0,977	0,973	0,979	0,962
ARTERIAL	238	1,024	1,076	1,059	0,990	1,000	0,985	1,003	0,996	0,987	0,976	0,978	0,967
COLETORA	29	1,020	1,073	1,082	1,006	1,028	0,991	1,006	0,973	0,968	0,949	0,985	0,988
LOCAL	96	1,044	1,077	1,077	0,988	1,005	0,972	1,010	0,980	0,987	0,977	0,984	0,966
Média		1,030	1,078	1,069	0,998	1,007	0,980	1,001	0,986	0,980	0,969	0,982	0,971

Fonte: ASTEF/UFC, 2015

Figura A.3 - Fatores de expansão mensais – CTAFOR



Fonte: ASTEF/UFC, 2015

Aplicando os fatores apresentados é possível estimar o VDMA nos casos em que se dispõe somente de contagens diárias isoladas. Essa estimativa pode ser calculada a partir da Equação A.2.

$$VDMA_{estimado} = VD * FED_d * FEM_m \quad (A.2)$$

Em que:

VD Volume diário;

FED_d Fator de Expansão Diário;

FEM_m Fator de Expansão Mensal