



UNIFACS

UNIVERSIDADE SALVADOR

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES®

UNIVERSIDADE SALVADOR – UNIFACS

MESTRADO ACADÊMICO EM SISTEMAS E COMPUTAÇÃO

ALAN MIRANDA DE LIMA

**EUCLIDES: UMA FERRAMENTA PARA AVALIAR O IMPACTO DE
CONGESTIONAMENTOS NÃO RECORRENTES**

Salvador
2016

ALAN MIRANDA DE LIMA

**EUCLIDES: UMA FERRAMENTA PARA AVALIAR O IMPACTO DE
CONGESTIONAMENTOS NÃO RECORRENTES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Computação da UNIFACS Universidade Salvador, Laureate International Universities como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Alberto Prado de Campos.

Salvador
2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UNIFACS Universidade Salvador, Laureate International Universities)

Lima, Alan Miranda

Euclides: uma ferramenta para avaliar o impacto de congestionamentos não recorrentes./ Alan Miranda Lima.- Salvador: UNIFACS, 2016.

91 f. : il.

Dissertação Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Computação de UNIFACS Universidade Salvador, Laureate International Universities como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Alberto Prado de Campos.

1. Sistemas de Informações Geográficas. 2. Monitoramento de trânsito. 3. Sistemas Inteligentes de Transporte. I. Campos, Jorge Alberto Prado, orient. II. Título

CDD:004

TERMO DE APROVAÇÃO

ALAN MIRANDA DE LIMA

EUCLIDES: UMA FERRAMENTA PARA AVALIAR O IMPACTO DE CONGESTIONAMENTOS NÃO RECORRENTES

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Sistemas e Computação, UNIFACS Universidade Salvador, Laureate International Universities, pela seguinte banca examinadora:

Jorge Alberto Prado de Campos – Orientador _____
Doutor em Spatial Information Science and Engineering, University of Maine at Orono
UNIFACS Universidade Salvador, Laureate International Universities

Paulo Nazareno Maia Sampaio _____
Doutor em Informatique et Télécommunications Université Paul Sabatier - Toulouse
III/LAAS-CNRS
UNIFACS Universidade Salvador, Laureate International Universities

Frederico Araújo Durão _____
Doutor em Personalização de Sistemas pela Aalborg University, AAU, Dinamarca
Universidade Federal da Bahia - UFBA

Salvador, 9 de maio de 2016.

Dedico este trabalho a meu avô (Euclides Cardoso Pinto de Miranda), que não está mais entre nós, mas que sempre se empenhou por mim e que, enquanto vivo, demonstrou o verdadeiro amor e dedicação que um avô deve ter por cada um de seus netos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo dom da vida. Aos meus pais, Roberto Pereira de Lima e Indarinalva de Miranda de Lima, que sempre me apoiaram incondicionalmente em todas as etapas de minha vida. Hoje se estou de pé, é mérito de Deus e deles.

Ao meu orientador, o professor Dr. Jorge Campos, pela extrema paciência, compromisso impecável, responsabilidade e compartilhamento de sabedoria. O êxito deste trabalho também é fruto do seu esforço. Sou grato pelas experiências que adquiri nesse período em que estive sob sua orientação.

Agradeço também a Transalvador, que forneceu dados importantes para esta pesquisa, em especial ao Marcelo Corrêa e ao José Souza.

Agradeço a todos os professores que tive nesse mestrado, que contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional. Assim como a meus amigos e colegas de profissão, principalmente Amanda Aleluia, Lucas Pacheco, Enrique Meneses, Rodrigo Negreiros, Vitor Santos, Marília Gabriela, e tantos outros, pelas discussões produtivas e pelo compartilhamento do processo desgastante e cansativo inerentes à atividade de pesquisa.

Por fim, agradeço aos meus colegas de turma, os quais compartilhei grandes experiências durante o curso.

RESUMO

Objetivando garantir a mobilidade de bens e pessoas, as grandes metrópoles têm realizado investimentos para monitorar, gerenciar e analisar a malha viária e o fluxo de veículos. A implantação de sistemas de monitoramento de tráfego, no entanto, exige uma quantidade considerável de investimentos em equipamentos e pessoal qualificado para simplesmente obter dados. Os investimentos são ainda maiores quando é necessário processar e analisar os dados e produzir informações que subsidiem medidas operacionais para o controle do trânsito e medidas estratégicas para a definição de investimentos em infraestrutura e políticas públicas na área de transporte. Com o objetivo de reduzir o custo e facilitar a coleta de informações sobre os fluxos de tráfego, este trabalho apresenta uma metodologia para avaliar o impacto que um evento não recorrente causa nas vias ao seu entorno. São exemplos de eventos não recorrentes os acidentes de veículos, a realização de uma obra de manutenção da via, a quebra de um semáforo ou qualquer outro evento não previsível e que afete o fluxo de veículos no local. Os pontos de monitoramento podem ser definidos de forma manual ou de forma automática com informações oriundas de redes sociais especializadas. As informações sobre o fluxo de veículo na região do evento são obtidas de serviços de mapas gratuitos disponíveis na Internet. Os dados obtidos são processados para apresentação da análise da influência do evento sobre o fluxo de trânsito na região. O sistema foi avaliado com dados reais coletados a partir de informações de eventos indicados através de redes sociais, em Salvador, demonstrando a viabilidade e potencial da solução proposta.

Palavras-chave: Sistemas Inteligentes de Transportes. Monitoramento de tráfego. Sistemas de Informações Geográficas.

ABSTRACT

Aiming at ensuring the mobility of goods and people, large cities have made investments to monitor, manage and analyze the road network and the traffic flow. The implementation of traffic monitoring systems, however, requires a considerable amount of investment in equipment and qualified personnel to simply get data. Investments are even greater when it is necessary to process and analyze the data and produce information that supports operational measures to control traffic and strategic measures for the definition of investment in infrastructure and public policies in the transportation area. In order to reduce the cost and facilitate the collection of information about traffic flows, this dissertation presents a methodology to assess the impact of a non-recurring event causes the roads in the surrounding area. Examples of non-recurring events are vehicle accidents, track maintenance works, maintenance of a traffic light or any other unforeseen circumstances which affect the flow of vehicles on site. The monitoring points can be defined manually or automatically with information coming from specialized social networks. The information about the vehicle flow in the event of the region is obtained from the free maps services available on the Internet. The data are processed to present the analysis of the influence of the event on the traffic flow in the region. The system was evaluated with real data collected from event information indicated through social networks, in Salvador, demonstrating the viability and potential of the proposed solution.

Keywords: Intelligent Transportation System. Traffic Monitoring. Geographic Information Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva padrão x curva provável do fluxo de tráfego	25
Figura 2 – Métricas para avaliação do tráfego	26
Figura 3 - Representação gráfica do indicador DMF para a área de controle semafórico que abrange os links de um trecho do corredor viário da Av. Pontes Vieira	27
Figura 4 - Representação espacial dos indicadores AVN, CNG, CFM (a), VO, NPV e IVO (b) para um trecho do corredor viário da Av. Pontes Vieira, Fortaleza.	28
Figura 5 - Gráfico que demonstra a Velocidade Média em diferentes cenários criados pelo micro simulador.....	29
Figura 6 - Comparação das tecnologias utilizadas por Herrera et al. (2010)	34
Figura 7 - Visualização utilizando o <i>Google Maps</i>	36
Figura 8 - Visualização utilizando o <i>Bing Maps</i>	37
Figura 9 - Camadas de trânsito: a) <i>Google Maps</i> ; b) <i>Bing Maps</i>	38
Figura 10 - Informações voluntárias são inseridas na base de dados do OSM por uma comunidade de voluntários.....	42
Figura 11 - Site do Geofabrik.....	43
Figura 12 - Tela principal do OSM2MSSQL4ROADS	44
Figura 13 - Uma aresta representando uma via reta	45
Figura 14 - Um nó representando a interseção entre duas vias	45
Figura 15 - Esquema da base de dados do projeto OSM e do monitoramento de trânsito.....	46
Figura 16 – Fases da metodologia proposta	48
Figura 17 - Descrição dos níveis dos trechos que poderão ser monitorados.....	49
Figura 18 - Exibição dos pontos de monitoramento (coordenadas iniciais e finais dos segmentos monitorados).....	50
Figura 19 – Pseudocódigo do algoritmo proposto de seleção das vias da área de influência ..	51
Figura 20 - Seleção utilizando o algoritmo tradicional do buffer.....	52
Figura 21 - Seleção utilizando o algoritmo proposto	53
Figura 22 - Tabela adicionadas ao esquema de dados do projeto OSM.....	54
Figura 23- Exemplo simples do formato de troca de mensagens JSON	57
Figura 24- Sistema desenvolvido para extração das informações de tráfego.....	58
Figura 25 - Execução de uma requisição utilizando a API <i>Routes</i> do <i>Bing Maps</i>	59
Figura 26 - Arquivo JSON disponibilizado pela API <i>Routes</i> do <i>Bing Maps</i>	59
Figura 27 - Dados coletados e agrupados a cada cinco minutos	61

Figura 28 - <i>Bing Maps</i> : Trecho onde está localizado o semáforo 86	61
Figura 29 - Gráfico de linhas demonstrando a comparação dos dados do tráfego fornecidos pelo <i>Bing Maps</i> e pelo Semáforo 86.....	62
Figura 30 - <i>Bing Maps</i> : Trecho onde está localizado o Semáforo 106.....	63
Figura 31 - Gráfico de linhas demonstrando a comparação dos dados do tráfego fornecidos pelo <i>Bing Maps</i> e pelo Semáforo 106	63
Figura 32 - Trecho onde está localizado o Semáforo 107	64
Figura 33 - Gráfico de linhas demonstrando a comparação dos dados do tráfego fornecidos pelo <i>Bing Maps</i> e pelo Semáforo 107.....	64
Figura 34 - Gráficos que mostram o comportamento do trânsito quando se despreza as informações do tráfego no horário de pico	65
Figura 35 - Gráficos que mostram o comportamento do trânsito, durante o horário de pico, de um dos trechos do estudo de caso.....	66
Figura 36 - Teste geral utilizando o equipamento 086	67
Figura 37 - Tela inicial do Euclides.....	71
Figura 38 - Diagrama de Caso de Uso das principais funcionalidades da ferramenta Euclides	72
Figura 39 - Novo monitoramento	74
Figura 40 - Tipo de Eventos x Monitoramentos realizados.....	74
Figura 41 - Localizando o evento	75
Figura 42 - Dados do Bing x Finalizando o monitoramento	76
Figura 43 - Tela com as métricas de trânsito utilizadas na ferramenta (DashBoard).....	77
Figura 44- Monitorar novamente e Dashboard.....	78
Figura 45 - Coordenadas e tamanho da área de influência (<i>buffer</i>) do evento monitorado	79
Figura 46 - Aplicação do algoritmo do evento monitorado. a) Vias selecionadas sem o algoritmo proposto. b) Vias selecionadas utilizando o algoritmo proposto	80
Figura 47 – Apresentação da metáfora de visualização proposta no dia da ocorrência do evento	81
Figura 48- Apresentação da mesma informação uma semana após o evento	81
Figura 49 - Gráfico da velocidade da via sem trânsito, da velocidade média no dia do evento e da velocidade média medida uma semana depois	82
Figura 50 - Gráfico do índice de congestionamento	83
Figura 51 - Gráfico da velocidade média de uma das vias monitoradas pela ferramenta para esse evento.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado do estudo de caso para o Teste T (Geral).....	68
Tabela 2 - Resultado do estudo de caso para o Teste T (Horário de Pico).....	68
Tabela 3 - Eventos monitorados pela ferramenta Euclides.	84

LISTA DE SIGLAS

AJAX	Asynchronous JavaScript + XML
API	Application Programming Interface
GANGES	Grupo de Aplicações e Análises Geoespaciais
GPS	Global Positioning System
IDE	Integrated Development Environment
ITS	Intelligent Transportation System
JSON	JavaScript Object Notation
KML	Keyhole Markup Language
OSM	OpenStreetMaps
SIG	Sistema de informações geográficas
SIGWEB	Sistemas de Informações Geográficas na Web
TRANSALVADOR	Superintendência de Trânsito de Salvador
TI	Tecnologia da Informação
VGI	Informações Geográficas Voluntárias

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 OBJETIVOS.....	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	17
1.3 METODOLOGIA.....	18
1.4 CONTRIBUIÇÕES.....	20
1.5 AUDIÊNCIA.....	20
1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	20
2 SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE E O MONITORAMENTO DE TRÂNSITO.....	22
2.1 MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO DO TRÂNSITO.....	24
2.2 MONITORAMENTO DE TRÁFEGO DE VEÍCULOS (MTV).....	30
2.3 INFORMAÇÃO DE TRÂNSITO NA WEB.....	35
2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
3 METODOLOGIA PARA AVALIAR O CONGESTIONAMENTO NÃO RECORRENTE UTILIZANDO INFORMAÇÕES DE TRÂNSITO COLETADAS POR SERVIÇOS DE MAPAS NA WEB.....	40
3.1 BASE DE DADOS DA MALHA VIÁRIA.....	41
3.2 MONITORAMENTO DE EVENTOS.....	46
4 AVALIAÇÃO DA PRECISÃO DA CAMADA DE TRÁFEGO.....	55
4.1 COLETA DE DADOS.....	56
4.2 AVALIAÇÃO DOS DADOS.....	60
4.2.1 Estatística descritiva.....	60
4.2.2 Estatística Inferencial.....	66
4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68
5 ARQUITETURA E AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA EUCLIDES.....	70
5.1 ARQUITETURA DA APLICAÇÃO.....	71
5.2 ESTUDO DE CASO.....	78
6 CONCLUSÃO.....	86
REFERÊNCIAS.....	89

1 INTRODUÇÃO

O modelo de desenvolvimento das cidades e a migração da população rural para a região urbana aceleram a pressão sobre o sistema de transporte em uma taxa muito superior a capacidade das cidades de adaptarem sua infraestrutura viária. Objetivando garantir a mobilidade de bens e pessoas, as grandes metrópoles têm investido, entre outras coisas, em sistemas de controle do tráfego para promover uma gestão mais eficiente e eficaz dos deslocamentos viários (LOUREIRO; LEANDRO; OLIVEIRA, 2002).

O congestionamento é um dos fenômenos associados à mobilidade urbana com maior percepção por parte dos usuários dos sistemas de transportes e com impactos significativos na economia, no meio ambiente e na saúde dos cidadãos. O impacto que alguns eventos causam ao trânsito pode ser percebido através de diferentes tipos de custos. Os custos econômicos, por exemplo se referem notadamente ao custo do tempo perdido pelas pessoas presas no trânsito e dos dispêndios monetários causados pela lentidão, mais especificamente os custos adicionais de combustíveis, da demora de entrega de mercadorias e os custos adicionais com manutenção e peças de reposição dos veículos. Os custos ambientais decorrem principalmente da emissão de poluentes pelos veículos e da destinação das peças de reposição e sucatas. Os custos associados à saúde estão relacionados às despesas médicas para tratamento de doenças respiratórias e psiquiátricas. Portanto quanto mais tempo os usuários permanecem no trânsito, os custos também tendem a serem maiores, causando para cada evento um determinado impacto.

O congestionamento pode ser definido como as condições de operação no sistema viário, em que a qualidade do fluxo de tráfego é influenciada negativamente além do nível aceitável pelo usuário (THURGOOD, 1995). Considerando a sua causa, os congestionamentos podem ser classificados em recorrentes e não recorrentes (CARAPITO, 2002). Os congestionamentos recorrentes são causados por fatores usuais e previsíveis, tais como os horários de pico e a realização eventos esportivos e culturais regulares. Os congestionamentos não recorrentes são causados por fatores atípicos ou não previsíveis, tais como manifestações públicas, acidentes de trânsito, quebra de equipamentos de sinalização e obras viárias. Independentemente do tipo de congestionamento, o conhecimento do impacto que os eventos de qualquer natureza causam no fluxo de veículos é uma informação indispensável na análise de medidas e ações para mitigar os efeitos destes eventos.

No que se refere aos congestionamentos não recorrentes, o impacto que os eventos geradores causam no trânsito pode ser avaliado comparando-se o comportamento do trânsito no instante da ocorrência evento com o padrão de comportamento do fluxo de veículos. O

padrão do fluxo pode ser determinado com dados históricos do fluxo de veículos na mesma região ou, na ausência destes, com dados futuros coletados durante certo período após o evento.

Um dos maiores problemas, entretanto, para o desenvolvimento de estudos e ferramentas computacionais que ajudem a análise do impacto de eventos no trânsito é a falta de dados confiáveis sobre a condição de trafegabilidade no local e na hora da ocorrência do evento. Uma alternativa para obtenção de dados sobre o trânsito que vem ganhando espaço ultimamente é a consulta à camada de tráfego de alguns serviços de mapas na Web, tais como o *Google Maps* e o *Bing Maps*. Estes serviços possibilitam que qualquer aplicação seja capaz de fazer requisições e obter a velocidade média instantânea nas principais vias da rede de transporte. Esta velocidade é estimada através de informações oriundas de várias fontes, tais como: sensores instalados nas principais vias, convênio com os órgãos de trânsito locais, parcerias com empresas de transporte e frota de táxis e, principalmente, da contribuição voluntária da multidão de usuários que utilizam a versão móvel dos respectivos serviços de mapa na Web.

A informação da camada de tráfego dos serviços de mapa na Web é muito utilizada pelos meios de comunicação para informar as condições de trafegabilidade das principais vias de uma cidade. Apesar da facilidade de obtenção dessas informações, o desconhecimento do nível de acurácia e a falta de conhecimento detalhado de como estas informações são obtidas podem ser vistos como principais obstáculos na utilização desta fonte de dados pelos Sistemas de Transportes Inteligentes (ITS, do inglês *Intelligent Transportation Systems*).

Este trabalho propõe o desenvolvimento de uma metodologia para avaliação do impacto causado no trânsito por eventos não recorrentes. O impacto pode ser detectado ao analisar o quanto o trânsito se distancia do seu comportamento padrão diário, gerando custos adicionais para a população urbana. Toda a metodologia é baseada em dados obtidos de fontes abertas, livres e gratuitas, o que permite que a mesma possa ser facilmente implantada sem os elevados custos associados às técnicas de monitoramento de trânsito usuais.

1.1 OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia para mensurar o impacto que eventos não recorrentes causam no trânsito das vias situadas na sua área de influência. A referida metodologia se baseia em informações abertas, livres e/ou

gratuitas obtidas dos serviços de mapas na Web e contempla a automatização de todo o processo, desde a definição do local do evento, passando pela identificação das vias afetadas pelo evento, pela geração do padrão de fluxo de veículo nas vias de interesse com e sem a ocorrência do evento e finalizando com um sumário descritivo do impacto do evento no fluxo de veículos no local e nas vias próximas da ocorrência do evento. Com a finalidade de atingir este objetivo, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Desenvolver um algoritmo que baseado em uma base de dados da malha viária aberta e gratuita determine todos os segmentos das vias que podem ser influenciadas pela ocorrência de algum evento que impacte o fluxo de veículos nestas vias;
- b) Desenvolver uma estratégia para coletar de forma automática junto aos serviços de mapas na Web as informações relacionadas ao fluxo de veículos nas vias de interesse. Estas informações serão coletadas durante a realização ou ocorrência do evento e por um período de tempo depois de cessado o efeito do evento para se determinar o padrão do tráfego com e sem o evento;
- c) Definir métricas para qualificação e comparação dos padrões do trânsito baseado nas informações obtidas dos serviços de mapas;
- d) Avaliar a acurácia das informações obtidas dos serviços de mapas na Web;
- e) Desenvolver uma ferramenta a título de prova de conceito da metodologia proposta;
- f) Avaliar a metodologia através de um estudo de caso.

1.2 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento de um sistema que avalie o impacto no trânsito causado por eventos não recorrentes constitui uma importante ferramenta para subsidiar estudos na área de transporte que visam analisar os efeitos e estudar os impactos financeiros, sociais e ambientais da ocorrência dos referidos eventos. Poucas prefeituras e órgãos governamentais possuem recursos para implantar a infraestrutura necessária para a coleta de informações sobre o trânsito de forma ampla e abrangente. Fato que inviabiliza o desenvolvimento de qualquer aplicação desta natureza.

A obtenção dos dados do tráfego no local do evento é uma tarefa difícil de ser realizada. Em primeiro lugar, a imprevisibilidade de data, horário e local dos eventos não

recorrentes torna a missão de monitorar o trânsito neste local e na sua área de influência uma tarefa complexa, principalmente considerando as principais tecnologias utilizadas atualmente na medição de fluxo de veículos. Em segundo lugar, a implantação de sistemas de controle de tráfego com cobertura integral de todas as vias de uma cidade é economicamente proibitiva. Estes sistemas demandam elevados investimentos na aquisição de sensores para captura dos dados, no desenvolvimento de aplicações computacionais para o monitoramento em tempo real do funcionamento do sistema e no treinamento e capacitação de pessoal em planos de contingência e medidas de caráter operacional. Os investimentos nos sistemas de controle são ainda mais significantes quando o objetivo é processar e analisar os dados para a produção de conhecimento que subsidiem medidas de caráter tático e estratégico, planos de investimentos na infraestrutura viária e políticas públicas ligadas ao sistema de transporte e mobilidade urbana.

Desta forma, a opção de se construir a infraestrutura necessária aos estudos de tráfego baseado em soluções abertas e livres e/ou gratuitas irá permitir a implantação de sistemas sofisticados para o monitoramento e análise do tráfego com reduzidos custos de implantação. Além disso, o nível de detalhe e acurácia das bases de dados da rede de transportes das cidades e a capilaridade das informações de trânsito dos serviços de mapas na Web permite o desenvolvimento de aplicações inovadoras, que levam em conta agora informações geradas pela multidão de usuários do sistema de transporte.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho foi dividida nas seguintes etapas:

- a) Revisão da literatura para identificação dos trabalhos relacionados e identificação do estado da arte de temas relevantes para a dissertação, tais como: Sistemas de Informações Geográficas na área de transporte, Sistemas Inteligentes de Transporte, soluções de TI aplicados ao gerenciamento trânsito, métricas para avaliação da qualidade do trânsito e principais tecnologias utilizadas na obtenção de dados sobre o fluxo do tráfego. Nesta etapa foi dada especial atenção aos trabalhos que objetivam o gerenciamento e o monitoramento de trânsito;
- b) Seleção e escolha de uma base de dados livre e gratuita da rede de transporte das cidades. Os critérios para seleção desta base contemplavam o nível de cobertura

(cidades de médio e grande porte), o grau de atualização da base e a facilidade de extração de informações geográficas da malha viária;

- c) Seleção de serviços de mapas na Web capazes de fornecer informação do fluxo de veículos nas vias. Os critérios para seleção dos serviços contemplavam também o nível de cobertura e a facilidade de obtenção da informação de forma automática;
- d) Desenvolvimento de um algoritmo capaz de identificar as vias cujo fluxo de veículos pode ser afetado diretamente pela ocorrência de um determinado evento. O referido algoritmo opera sobre a base de dados da malha viária e considera o sentido do fluxo nas vias, à distância ao local do evento e as interseções viárias para determinar somente os segmentos da malha viária que serão afetados pelo evento.
- e) Desenvolvimento de um algoritmo capaz de coletar, de forma automática, dados da camada de trânsito dos principais serviços de mapas na Web. O referido algoritmo posiciona “coletores” em diversos trechos da área de influência do evento e guarda informações sobre o trânsito enquanto durar o evento. Os “coletores” voltam a coletar dados dos mesmos locais ao longo dos dias subsequentes. Estes últimos dados visam capturar o padrão do fluxo no local e comparar com dados do dia do evento;
- f) Definição das principais métricas utilizadas para monitoramento de trânsito. A revisão da literatura na área de transporte subsidiou a seleção das principais métricas utilizadas por profissionais da área na avaliação do fluxo de veículos;
- g) Desenvolvimento de uma aplicação a título de teste e prova de conceito. A referida aplicação foi utilizada em alguns estudos de casos;
- h) Finalmente, a realização da avaliação do grau de acurácia das informações obtidas da camada de trânsito dos serviços de mapas na Web. Para realizar a avaliação, foi obtido junto ao órgão de trânsito dados reais da velocidade média do fluxo em três pontos da cidade de Salvador. Estes valores foram comparados com os dados obtidos da camada de trânsito do *Bing Maps* para efeito de determinação da acurácia.

1.4 CONTRIBUIÇÕES

O presente trabalho possui contribuições nas áreas de Sistemas de Monitoramento de Tráfego e Sistemas Inteligentes de Transportes. Na área de Sistemas Inteligentes de Transportes, em geral, a pesquisa contribui com uma proposta inovadora para obtenção de dados de trânsito dos serviços de mapas na Web. A acurácia destes dados foi verificada através da comparação com dados reais, permitindo expressar o grau de confiabilidade que estes dados oferecem. Na área de Sistemas de Monitoramento do Tráfego, em particular, a pesquisa propõe uma metodologia que utiliza diferentes tipos de ferramentas, métricas e serviços Web que, em conjunto, podem fornecer informações necessárias o gerenciamento de trânsito.

1.5 AUDIÊNCIA

Este trabalho tem como audiência um público bastante diversificado, pois reúne diversos temas e contribuições nas áreas de Sistemas de Informações Geográficas na Web, Sistemas Inteligentes de Transportes, monitoramento de trânsito, entre outros.

Desta forma, o público alvo deste trabalho engloba pesquisadores e profissionais da área de Ciência da Computação, Engenheiros de Transporte, Geógrafos, gestores públicos do sistema de transporte ou qualquer pessoa interessada em avaliar os efeitos de eventos não recorrentes no trânsito.

1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos. O segundo capítulo fornece uma base teórica que dá amparo a esta pesquisa, discutindo diversos conceitos e disciplinas fundamentais ao entendimento do trabalho desenvolvido, tais como: Sistemas Inteligentes de Transporte e a combinação de Sistemas de Informações Geográficas para Web com obtenção de dados de tráfego. Este capítulo descreve ainda alguns trabalhos correlatos que retratam o estado da arte da pesquisa desenvolvida.

O terceiro capítulo descreve a metodologia utilizada para a realização do monitoramento do trânsito na presença de eventos não recorrentes. Neste capítulo são discutidos as principais ferramentas e serviços utilizados na implementação da metodologia.

O quarto capítulo apresenta a avaliação da qualidade dos dados de trânsito fornecidos por serviços de mapas disponíveis na Web. Os dados destes serviços foram comparados com informações coletadas através de semáforos inteligentes fornecidos pelo órgão público de trânsito da cidade de Salvador.

O quinto capítulo mostra a aplicação da metodologia proposta em uma ferramenta Web desenvolvida para esta pesquisa. São demonstrados quatro estudos de casos realizados na cidade de Salvador.

Por fim, o sexto capítulo apresenta as considerações finais sobre o trabalho realizado, incluindo suas limitações e sugestões para pesquisas futuras.

2 SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE E O MONITORAMENTO DE TRÂNSITO

Os sistemas de transporte participam ativamente de qualquer atividade exercida no contexto social, principalmente na região urbana. Eles são constituídos de uma vasta área, alargada e ubíqua, em que sua importância se faz presente nos campos político, social e econômico (SUSSMAN, 2000).

Um sistema de transporte, de acordo com Figueiredo (2005), é composto por diferentes componentes que podem ser agrupados em duas perspectivas: componentes internos e componentes externos. Os componentes internos de um sistema de transporte, por sua vez, podem ser divididos em três categorias: componentes físicos, agente de operação e plano de operação. Os componentes físicos compreendem a infraestrutura (incluindo vias, terminais e estações), veículos, equipamentos, combustíveis e os sistemas de localização, controle e comunicação. Os agentes de operação abrangem trabalhadores ligados diretamente ao trânsito, aos sindicatos, a gestão do sistema, a gestão da manutenção (infraestruturas e veículos), a administração do sistema de transporte, entre outros. Os planos de operação incluem o balanceamento do tráfego, os padrões de conexão existentes entre as vias e os meios de locomoção, negociação do custo/nível de serviço, entre outros. Os componentes externos de um sistema de transporte são formados por todos os usuários do transporte de uma região. Como o trânsito influencia a vida de praticamente toda a população urbana, faz-se necessário cada vez mais o desenvolvimento de sistemas que consigam gerenciá-lo de uma forma mais eficiente e que dê um suporte inteligente às diferentes necessidades de deslocamento dos seus usuários. Esses sistemas são chamados de Sistemas Inteligentes de Transporte.

Os Sistemas Inteligentes de Transporte – do inglês *Intelligent Transport System* (ITS) – fornecem ferramentas e serviços de detecção precoce de incidentes e problemas, gerenciamento do trânsito com base na sua demanda em tempo real, prevenção de acidentes com aviso de mensagens sobre futuras condições do trânsito (congestionamento, neblina etc.), gerenciamento do sistema de ônibus, entre outros (PAPACOSTAS; PREVEDOUROS, 1993). ITS são relacionados a uma ampla variedade de tecnologias eletrônicas, que, quando integradas à infraestrutura do sistema de transportes, possuem potencial para amenizar congestionamentos e aumentar a segurança e a produtividade do referido sistema. Esses sistemas podem fornecer informações de congestionamento permitindo ao usuário tomar decisões de mudanças de trajetos nas viagens programadas. Os usuários que utilizam carros

podem, com algum grau de flexibilidade, adiar uma viagem, atrasá-la ou realizá-la em um momento diferente, se as estradas estiverem congestionadas (PAPACOSTAS; PREVEDOUROS, 1993).

Segundo Aquino *et al.* (2001), os ITS podem ser categorizados como:

- a) Sistemas Avançados de Transporte Público (APTS, do inglês *Advanced Systems of Public Transport*) – tecnologias avançadas que qualificam a segurança, eficiência e efetividade dos sistemas de transporte público, tendo como objetivo a minimização do tempo de espera, aumento da segurança, facilidade para o pagamento da tarifa e informações sobre itinerários e horários.
- b) Sistemas Avançados de Gerenciamento de Tráfego (ATMS, do inglês *Advanced Traffic Management Systems*) – gerenciamento geral do tráfego utilizando a tecnologia em projetos que tentam minimizar o congestionamento das vias, como, por exemplo, semáforos inteligentes, segurança no trânsito e gerenciamento dos congestionamentos.
- c) Sistemas Avançados de Informação ao Viajante (ATIS, do inglês *Advanced Traveler Information Systems*) – tecnologias avançadas que descrevem melhor ao viajante as condições da via, tanto ambientais como de trânsito. Esses sistemas fazem uso de sistemas de navegação e informação para garantir a segurança ao motorista e minimizar os congestionamentos.
- d) Operação de Veículos Comerciais (CVO, do inglês *Commercial Vehicle Operation*) – gerenciamento e a operação de veículos do âmbito comercial. Tecnologias utilizadas para melhorar o gerenciamento dos serviços dos transportes de carga.
- e) Sistemas Avançados de Controle Veicular (AVCS, do inglês *Advanced Vehicle Control Systems*) – melhoria na segurança do sistema viário, permitindo que os veículos interajam com os motoristas, auxiliando-os em diversos aspectos (veículos inteligentes).
- f) Coleta Eletrônica de Pedágio (ETC, do inglês *Electronic Toll Collection*) – utilizam tecnologias avançadas para gerenciar estratégias de cobrança de pedágio, tentando minimizar os tempos perdidos na fila e reduzir os congestionamentos causados nas praças de pedágio.

A proposta apresentada neste trabalho pode ser vista como uma aplicação de Sistemas Avançados de Gerenciamento de Tráfego (ATMS).

Os dados do fluxo de tráfego em tempo real têm uma grande importância nos ATMS, pois servem de subsídio para os principais sistemas da área, servindo como uma importante fonte de informação para a população urbana. Na próxima seção, serão discutidas as métricas mais utilizadas para avaliar o trânsito, utilizando as informações coletadas por tecnologias baseadas em sistemas inteligentes de transporte.

2.1 MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO DO TRÂNSITO

ATMS utilizam dados do tráfego para avaliar o desempenho e a qualidade do trânsito em uma região. Esta informação, entretanto, precisa ser convertida em métricas que forneçam ao usuário, de forma clara e objetiva, os meios necessários para interpretação dessa informação.

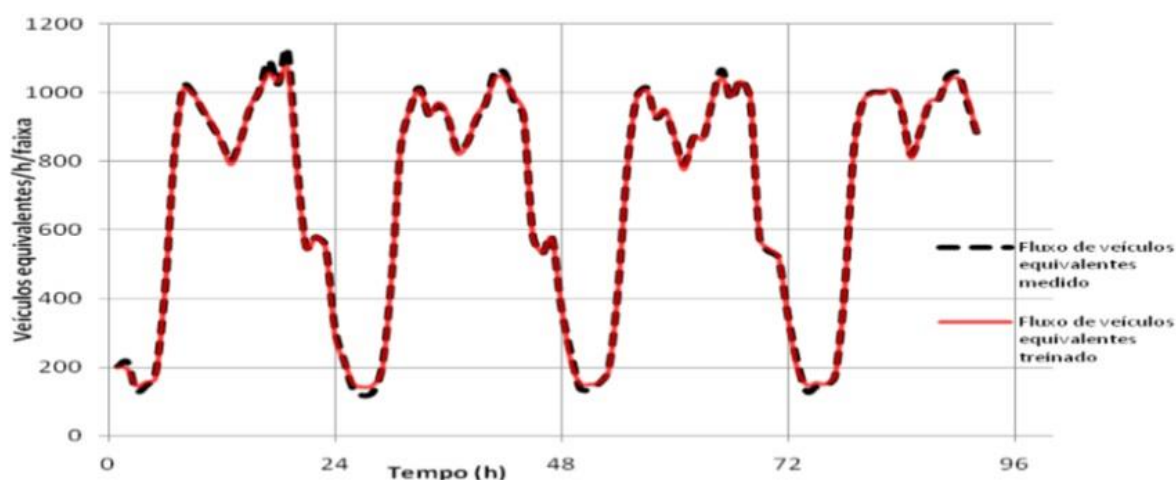
Marte *et al.* (2011) desenvolveram uma ferramenta que utiliza informações provenientes de diferentes sistemas, para aplicar uma técnica de inteligência artificial com o objetivo de obter um padrão do comportamento do trânsito nos diferentes horários do dia. Esses diferentes sistemas forneceram diversos tipos de dados, como condição do tempo, horários de acidentes de trânsito e a ocorrência de alguns tipos de eventos.

As informações do tráfego são oriundas das concessionárias, que gerenciam boa parte da malha viária do estado de São Paulo. Essas concessionárias utilizam equipamentos nos trechos em que são extraídas informações sobre o tráfego daquela localidade, tais como a velocidade e tempo de viagem.

Indicadores de desempenho propostos na literatura são baseados em critérios, como consistência e aplicabilidade, refletindo uma visão gerencial para o usuário. Marte *et al.* (2011) utilizam para representar o comportamento do trânsito em seu trabalho os seguintes critérios: Capacidade, Nível de Serviço e Fluxo de Veículos Equivalentes. A Capacidade pode ser definida como um número máximo de veículos ou pessoas que podem passar por um ponto (seção) de uma via, durante um determinado período de tempo, sob certas condições operacionais e de tráfego. O Nível de Serviço (NS) descreve a qualidade das condições de operação de uma corrente de tráfego. Nele, estão englobados a velocidade, tempo de viagem, interrupções do tráfego, conforto e segurança. O Fluxo de Veículos Equivalentes é o número total de carros de passeio que estão em uma determinada via em um certo agrupamento de horário.

A Figura 1 mostra o comportamento padrão do trânsito através de curvas de previsão do tráfego. A utilização dessas curvas permite prever o padrão do comportamento do trânsito, representado pela métrica Fluxo de Veículos Equivalentes, nos diferentes horários do dia, descartando as informações de tráfego da via quando ocorreram acidentes, eventos e condições climáticas atípicas. Essa informação pode ser utilizada, por exemplo, para estimar as janelas de deslocamento na via, com o objetivo de evitar horários com trânsito mais denso.

Figura 1 - Curva padrão x curva provável do fluxo de tráfego



Fonte: Marte *et al.* (2011).

No trabalho de Marte *et al.* (2011), foi possível entender e identificar padrões no comportamento do trânsito baseado no armazenamento de dados históricos, indicando alterações prováveis quando ocorrem intercorrências. Métricas baseadas nas informações do fluxo do tráfego foram cruzadas com ferramentas de Inteligência Artificial, para identificar esse comportamento, podendo prever os intervalos de tempo de maiores congestionamentos.

Meneses *et al.* (2003) realizam uma discussão teórica e prática sobre a definição e o uso de indicadores de desempenho de sistemas de gestão do tráfego urbano, utilizando diversas métricas. Neste trabalho são utilizados dados capturados através de um sistema centralizado de controle de tráfego para avaliar o desempenho do trânsito.

Os dados obtidos pelo sistema são utilizados para o cômputo de um conjunto de métricas (Figura 2), em que serão destacadas: Atraso Veicular Médio (AVM), Índice de Congestionamento Médio (ICNG), Velocidade Operacional, Tempo de Jornada e o Desvio Padrão da Média Móvel do Fluxo (DMF).

Figura 2 – Métricas para avaliação do tráfego

Formulação	Descrição de parâmetros	Espacial	Temporal
$AVM_i = \frac{\sum_{t=1}^n a_{i,t}}{n}$	<p>AVM_i: atraso veicular médio (s) num <i>link</i> "i" para um mesmo período "t" (15 min.), ao longo de um período de dias;</p> <p>$a_{i,t}$: atraso veicular (s) num <i>link</i> "i" num período "t" de 15 min, conforme modelado pelo SCOOT;</p> <p>n: número de períodos de 15 minutos usados.</p>	<i>link</i>	15 minutos
$CNG_i = \frac{\sum_{t=1}^n c_{i,t}}{n}$	<p>CNG_i: congestionamento (%) médio num <i>link</i> "i" para um mesmo período "t" (15 min), ao longo de um período de dias;</p> <p>$c_{i,t}$: congestionamento (%) num <i>link</i> "i" num período "t" de 15 min, conforme modelado pelo SCOOT.</p>	<i>link</i>	15 minutos
$VO_i = \frac{\sum_{t=1}^n v_{i,t}}{n}$	<p>VO_i: velocidade operacional média (km/h) num <i>link</i> "i" para um mesmo período "t" (15 min.), ao longo de um período de dias;</p> <p>$v_{i,t}$: velocidade oper. (km/h) num <i>link</i> "i" num período "t" de 15 min. conforme modelado pelo SCOOT.</p>	<i>link</i>	15 minutos
$DME_{a,H} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^H (F_{a,t} - MMF_{a,H})^2}{H}}$ $F_{a,t} = \frac{\sum_{i=1}^k q_{i,t}}{k}$ $MMF_{a,H} = \frac{\sum_{t=1}^H F_{a,t}}{H}$	<p>$DMF_{a,H}$: desvio padrão móvel do fluxo de tráfego numa área "a" composta por "i" <i>links</i>, para um período horário "H" com quatro períodos de 15 minutos;</p> <p>$F_{a,t}$: fluxo médio de tráfego nos "k" <i>links</i> que compõe uma área "a", para um período de tempo de 15 min;</p> <p>$MMF_{a,H}$: valor médio dos $F_{a,t}$ calculados para períodos de uma hora defasados por intervalos de 15 minutos consecutivos. Por exemplo: 7-8h e 7:15-8:15 h etc;</p> <p>$q_{i,t}$: fluxo de tráfego (veic/h) num <i>link</i> "i" num período "t" de 15 min, conforme modelado pelo SCOOT.</p>	área	Períodos consecutivos de uma hora, defasados por intervalos de 15 min.

Fonte: Adaptado de Meneses *et al.* (2003).

O Atraso Veicular representa o atraso de um veículo padrão. Esta variável é calculada utilizando a divisão entre as métricas atraso e fluxo veicular, correspondendo a um valor em segundos.

O Congestionamento representa um percentual de ocupação da via calculado pela razão entre o número de períodos que um detector veicular esteve ocupado e o número total de períodos observados, em um período de tempo.

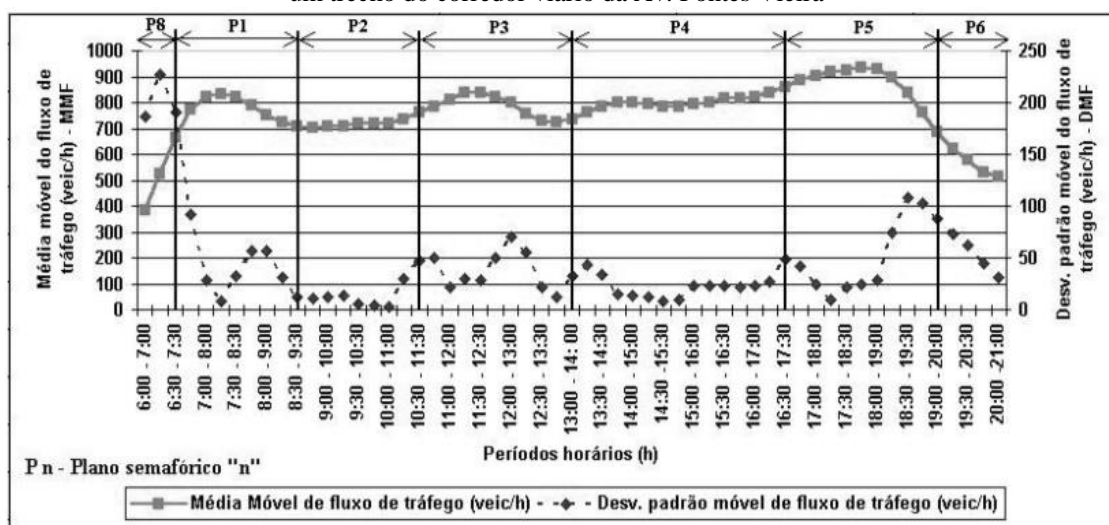
O Índice de Congestionamento representa um indicador de congestionamento adimensional. Essa métrica é calculada utilizando o tempo de viagem padrão e o atraso veicular.

A variável Tempo de jornada consiste na estimativa do tempo de viagem de um veículo "padrão" obtido pela soma entre a variável básica atraso veicular e o parâmetro tempo de viagem.

A Velocidade Operacional pode ser definida como a velocidade abaixo da qual circulam 85% dos veículos em uma determinada via quando condicionados somente pelos elementos do ambiente do sistema viário.

O cálculo do Desvio Padrão da Média Móvel do Fluxo de Tráfego (DMF) usa o desvio padrão do tempo de viagem histórico armazenado na base de dados. Esse índice é calculado e demonstrado, no gráfico da Figura 3, agrupado a cada 15 minutos. A análise do gráfico mencionado permite visualizar os horários adequados para a execução dos planos de tempo fixo em uma segunda-feira típica de agosto.

Figura 3 - Representação gráfica do indicador DMF para a área de controle semafórico que abrange os links de um trecho do corredor viário da Av. Pontes Vieira



Fonte: Meneses *et al.* (2003).

Esses indicadores obedecem a uma gama de critérios para avaliação, como facilidade de compreensão, definição formal, consistência, aplicabilidade a múltiplos modais de transporte urbano, baixo custo de determinação e procedimentos simples de coleta de dados. Os autores mencionam que, dificilmente, um indicador de desempenho irá cobrir todos esses critérios.

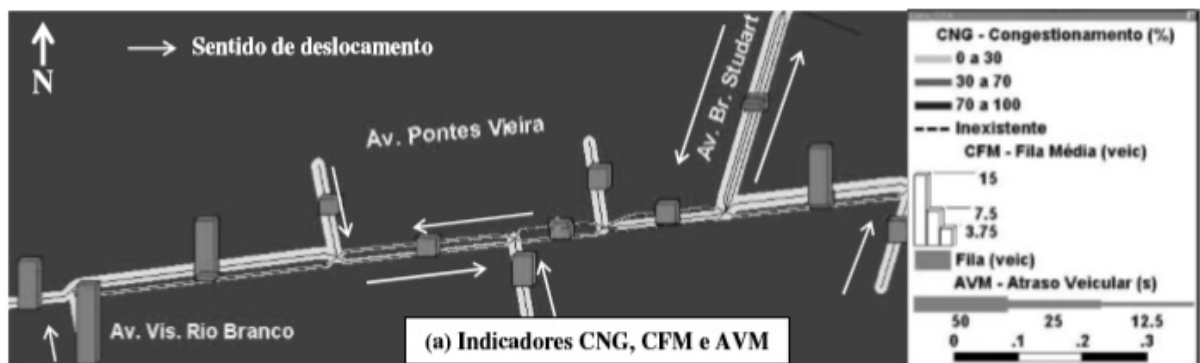
O sistema, utilizado por Meneses *et al.* (2003), cobre a área mais congestionada da malha viária de Fortaleza e é, na verdade, uma junção de três subsistemas que visam realizar uma gerência do trânsito automatizada e proporcionar o controle sobre o tráfego nas vias monitoradas em tempo real. Esses subsistemas são o Circuito Fechado de Televisão (CFTV), os Painéis de Mensagens Variáveis (PMV) e Split Cycle Time and Offset Optimization Technique (SCOOT).

O CFTV permite o monitoramento através de sistemas fechados de TV utilizando câmeras instaladas nas vias e operadores para observarem o comportamento do trânsito, indicando possíveis intercorrências que podem influenciar no tráfego.

O PMV fornece as informações através de painéis de mensagens, ou seja, alguns usuários cadastrados são informados sobre a situação do trânsito durante intervalos de tempo.

O SCOOT otimiza o controle dos semáforos em tempo real com base nos dados de trânsito armazenados em uma base de dados. Os modelos de visualização dos indicadores são apresentados em um mapa em que são demonstrados os links (ruas) e os indicadores CNG, CFM e AVM (Figura 4).

Figura 4 - Representação espacial dos indicadores AVN, CNG, CFM (a), VO, NPV e IVO (b) para um trecho do corredor viário da Av. Pontes Vieira, Fortaleza



Fonte: Meneses *et al.* (2003).

O trabalho de Meneses *et al.* (2003) gera indicadores de desempenho baseados em formulação matemática, representando as informações em gráficos, buscando facilitar a compressão dos resultados. Esses indicadores são bastante utilizados na literatura e os autores o inseriram, na prática, em um projeto que já obtinha dados importantes, mas não o representavam de uma maneira eficiente.

Os trabalhos de Meneses *et al.* (2003) e Marte *et al.* (2011) utilizam dados reais para efetuar uma avaliação do desempenho do trânsito, porém existem trabalhos que utilizam dados de simulação para realizar tal avaliação. Esses sistemas de simulação são muitas vezes desenvolvidos para avaliar intervenções que serão feitas no trânsito por órgãos públicos.

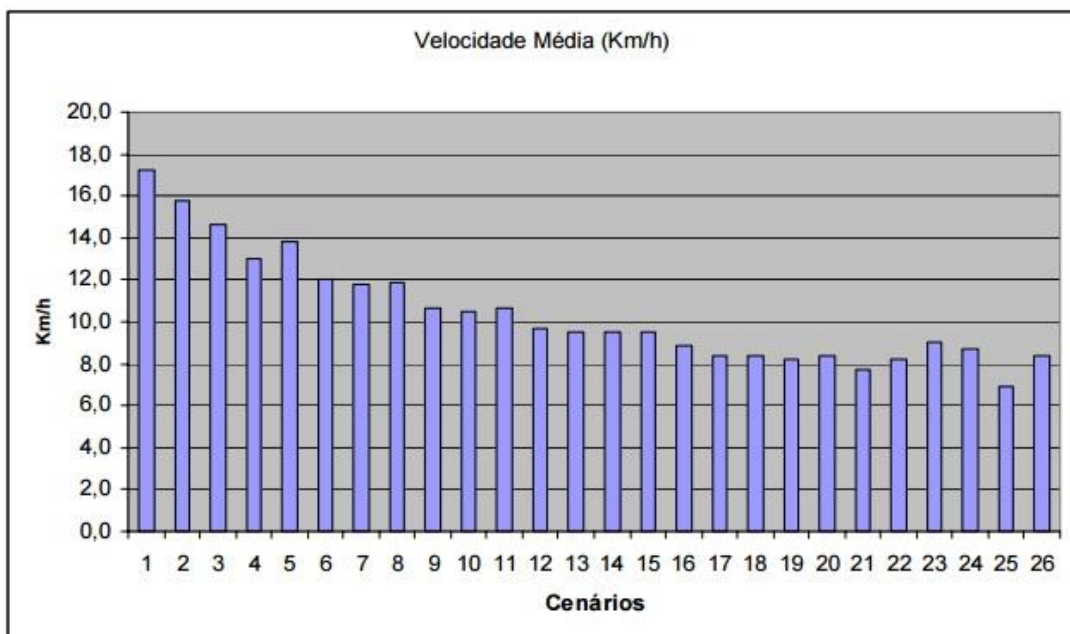
Coelho (2009) desenvolveu uma ferramenta para realizar a avaliação do tráfego usando um micro simulador com capacidade de analisar o desempenho do fluxo do tráfego, permitindo uma análise gerencial da rede viária. Esse micro simulador aumenta e diminui gradativamente fluxo dos veículos para efetuar análises das variáveis resultantes do processo de simulação, reproduzindo atrasos no tráfego para realização de testes baseados em cenários de simulação.

Os principais atributos de entrada do micro simulador são as coordenadas dos nós, os comprimentos dos links, número de faixas, velocidade de fluxo livre, percentuais de volume

de veículos que transitam, composição de tráfego, taxa de ocupação dos veículos e tempos de planos semaforicos. Com estes dados, é possível realizar uma simulação efetiva do tráfego em uma dada região. A rede é formada a partir de informações que foram coletadas como geometria das vias, fluxos de tráfego, operação semaforica, entre outras características físicas e lógicas do sistema viário.

O sistema desenvolvido por Coelho (2009) exhibe o resultado de uma simulação através de gráficos, utilizando as seguintes métricas: Velocidade Média, Tempo de Viagem e Tempo de Atraso. A Figura 5 mostra o comportamento do trânsito, através da Velocidade Média, nos diversos cenários criados pelo micro simulador.

Figura 5- Gráfico que demonstra a Velocidade Média em diferentes cenários criados pelo micro simulador



Fonte: Coelho (2009).

A pesquisa mostra técnicas e métricas de análise do tráfego a partir de um software de simulação de trânsito. O software tenta projetar os dados na realidade da rede viária urbana. Essa é uma maneira de estudo bastante interessante, pois realizando simulações é possível prever situações de congestionamento antes mesmo de construir uma determinada via.

Coelho (2009) avalia o projeto de maneira positiva, contudo indica que o software não reflete totalmente os dados reais em que os condutores procuram caminhos alternativos, que normalmente possuem maior impedância e Velocidades Médias inferiores aos trajetos tradicionais e apresentam fluxos contínuos.

Existem diversas maneiras de coletar dados referentes a situação do tráfego. Na próxima seção, serão demonstrados trabalhos que utilizam diferentes tecnologias e equipamentos para detectar a velocidade de deslocamento dos veículos nas vias.

2.2 MONITORAMENTO DE TRÁFEGO DE VEÍCULOS (MTV)

Uma grande variedade de sensores vem sendo desenvolvidos para o monitoramento do tráfego durante as últimas duas décadas. Alguns deles são baseados em sensores ópticos (câmeras de vídeo), outros utilizam radares passivos e ainda há os que utilizam o Global Positioning System (GPS) (SAMCZYNSKI *et al.* 2011).

Samczynski *et al.* (2011) utilizaram radares passivos para propor um monitoramento de tráfego. O trabalho apresenta um estudo de viabilidade sobre o uso de radares passivos para controle de tráfego em diferentes ambientes, transmitindo a informação da condição do tráfego via GSM (System for Mobile Communications). O sistema desenvolvido por eles utilizou, para o monitoramento de tráfego, informações reais capturadas durante uma campanha de medição realizada na Universidade de Tecnologia de Varsóvia. A análise inicial do resultado mostra que essa tecnologia pode ser utilizada com sucesso para a extração de informações do tráfego de veículos, tais como velocidade e tempo de viagem.

No trabalho de Pham *et al.* (2015) foi utilizado fontes de dados provenientes de dispositivos de GPS. A inovação do trabalho de Pham *et al.* (2015) é que os autores utilizam as motocicletas, por ter um baixo custo no mercado dos países em desenvolvimento, para servir como fonte de extração de dados do fluxo de tráfego. Os autores desenvolveram aplicações móveis em plataformas Android e IOS para rastreamento via GPS, com o objetivo principal de ajudar os usuários a contribuírem para construir os dados do tráfego e lhes informar o estado em que se encontra o trânsito. Todos os dados são processados em um centro de controle e convertidos em métricas usuais, como a Velocidade Média, Fluxo de tráfego e o Tempo médio de viagem.

Megalingam *et al.* (2010) utilizam a tecnologia Wireless Sensor Network (WSN) como fonte para obter informação da situação do trânsito em um Sistema Inteligente de Transporte desenvolvido por eles. Uma característica do trabalho de Megalingam *et al.* (2010) é que os autores se preocupam muito com a detecção do registro do excesso de velocidade, que é uma das causas que mais matam na Índia (região onde foi implementado o trabalho).

Equipamentos instalados em veículos atuam como nós da rede, auxiliando no envio e recepção de dados para a Estação Central de Monitoramento.

A proposta de monitoramento da velocidade dos veículos, feita por Megalingam *et al.* (2010), utiliza WSN, no qual um sensor é instalado em todos os automóveis, podendo comunicar entre si e com a Central de Monitoramento (CMS), juntamente com os sensores colocados em pontos apropriados nas estradas. Isso pode ser usado para controlar o tráfego de forma eficaz, relatando casos de excesso de velocidade diretamente para a polícia, informando, imediatamente, aos departamentos médicos em caso de acidentes. Os autores mencionam também que o risco de acidentes foi fortemente reduzido com a aplicação dessa tecnologia. O sistema proposto por Megalingam *et al.* (2010) é altamente flexível e adaptável aos países em desenvolvimento, pois é significativamente mais econômico quando comparado com as técnicas avançadas convencionais, devido a menores custos de implantação e manutenção. A proposta é capaz de monitorar o tráfego em estradas com grande eficiência e dispondo de uma supervisão humana mínima

Uma outra maneira para a captura dos dados de trânsito é através de câmeras posicionadas estrategicamente em pontos na via. No trabalho de Reis (2014), o autor desenvolveu um sistema que realiza a detecção de veículos em tempo real, por meio de técnicas de Visão Computacional. Através de uma câmera fixa, posicionada em um local estratégico, conectada a um notebook, a aplicação desenvolvida por Reis (2014), detecta os veículos classificando-os quanto ao seu tamanho. O sistema pode ser utilizado para auxiliar o controle e o monitoramento do trânsito nas grandes cidades.

No trabalho de Kiratiratanapruk *et al.* (2006), os autores utilizam vídeos das câmeras para o monitoramento do tráfego em tempo real com base na detecção e rastreamento de objetos para determinar métricas de trânsito, tais como Velocidade e Fluxo de tráfego. A primeira etapa é a de detecção de objetos em que envolve segmentação dos veículos em movimento através da subtração *foreground* (todo elemento que está localizado na frente da cena da imagem). Na segunda etapa, estes objetos segmentados serão rastreados para classificá-los individualmente (tamanho e cor) e capturar sua velocidade. Os principais problemas encontrados pelos autores é a luminosidade em ambientes ao ar livre e interferência das sombras de objetos, como postes e árvores que dificultam a detecção dos veículos na pista. Foram utilizados seis vídeos para validar a ferramenta e, como resultado, os autores obtiveram grau de acerto de 77,9%. Havia indícios fortes de erro na detecção de veículos de cor escura e distinção de objetos muito próximos.

No trabalho de Tobing *et al.* (2014), foi desenvolvido um aplicativo baseado em processamento de imagem através de câmeras para o monitoramento e análise de tráfego de veículos usando técnicas de subtração *background* (todo elemento que não está localizado na frente da cena da imagem). Um novo método para detecção de veículos foi desenvolvido para resolver o problema de identificação do objeto durante a noite, utilizando a luminosidade dos faróis do carro. O método tradicional, normalmente, atinge cerca de 86,7% de precisão. O método desenvolvido, quando utilizado durante a noite, chega a ter uma taxa de precisão de 96,3%. A aplicação também fornece as condições de tráfego, reunindo dados estatísticos do trânsito durante determinados períodos de tempo, disponibilizando essas informações na rede social *Twitter*.

A ideia do monitoramento de trânsito através das câmeras é muito promissora, no entanto a maioria dos métodos necessita de câmeras posicionadas em pontos específicos na via, e de uma manutenção rotineira nestes equipamentos implicando em elevados custos de instalação e manutenção.

Uma outra alternativa é a utilização de sensores, instalados nos transportes coletivos, para realizar o monitoramento de trânsito. No trabalho de Weigang (2001), por exemplo, os autores desenvolveram um Sistema Inteligente de Transporte aplicado em uma determinada linha de ônibus. Através da telefonia celular e de satélites do sistema GPS, informações da situação de um ônibus podem ser coletadas, revelando a sua velocidade de deslocamento. Através desse sistema, os usuários do sistema de transporte coletivo podem acompanhar o andamento do ônibus, com a disponibilização do tempo de viagem estimado entre os pontos de limitação.

Gao *et al.* (2014) elaboraram uma ferramenta, o RoadRunner, um aplicativo Android que aborda um conceito amplamente estudado para reduzir o congestionamento: a tarifação rodoviária. A tarifação rodoviária é uma política monetária para incentivar motoristas a não entrarem em regiões congestionadas e tem sido tradicionalmente implementada através de cabines de pedágios em vias urbanas.

O congestionamento também pode ser controlado por meio de políticas não monetárias que limitam diretamente o número de veículos que podem dirigir em uma estrada, conhecidas como racionamento de espaço-estrada.

RoadRunner é um aplicativo de telefone móvel descentralizado para os veículos reservarem eletronicamente lugares nas estradas em uma determinada rede de transporte, que utiliza a rede telefônica 4G para comunicar-se com o servidor principal. O sistema distribui uma espécie de fichas para veículos com permissões de acesso aos trechos das vias. Em

resumo, a utilização do RoadRunner para o controle do congestionamento serve para garantir que não haja muitos veículos (acima da capacidade da via) em um determinado trecho em um dado momento.

Os resultados de uma simulação realizada mostram que RoadRunner tem a capacidade de gerenciar vias em grande escala e melhorar a velocidade de deslocamento sobre um regime de tarifação rodoviária eletrônico já existente, reduzindo principalmente custos para os motoristas, como de combustíveis e pneus. Gao *et al.* (2014) também mencionam que com a evolução e a utilização dos *smatphones*, o Roadrunner pode ser um serviço de gerenciamento de trânsito de baixo custo muito eficaz e extremamente útil quando utilizado de maneira inteligente.

O racionamento do espaço-estrada pode melhorar a capacidade do fluxo quando utilizados, em combinação, com a tarifação rodoviária. Gao *et al.* (2014) citam que existem vários sistemas com essas tecnologias, entretanto requerem a implantação de infraestrutura rodoviária física de alto custo, tais como suportes, pedágios e dispositivos especiais. Dessa forma, a implantação do controle de congestionamento tende a ser limitada, só se justificando em cenários bem específicos.

A utilização de veículos como sensores tem se mostrado bastante promissor no monitoramento de tráfego. No trabalho de Li *et al.* (2009), uma avaliação do desempenho do tráfego foi realizada em Xangai, China, utilizando-se os sensores baseados em veículos instalados em cerca de 4000 táxis para avaliação do fluxo de tráfego. Os dados obtidos foram comparados com dados coletados através dos vídeos das câmeras, demonstrando a eficiência do método na precisão da detecção do congestionamento. Os resultados mostram que as estimativas do status do tráfego com base nesses dados foram razoavelmente precisos.

Uma afirmação relevante do trabalho de Li *et al.* (2009) é que, normalmente, na avaliação da qualidade de uma viagem, os motoristas tendem a considerar mais a métrica velocidade do que a taxa de fluxo ou densidade média. Portanto, nesse trabalho, a média de velocidade também foi usada como uma métrica de desempenho. Ainda nessa pesquisa, foi realizado um estudo de avaliação de desempenho, utilizando os sensores baseados em veículos existentes em táxis para o monitoramento tráfego. O resultado pode ter sido preciso, mas, segundo Li *et al.* (2009), ter sensores em todos os veículos e em todas as estradas é muito caro, especialmente quando se considera a situação econômica de países em desenvolvimento.

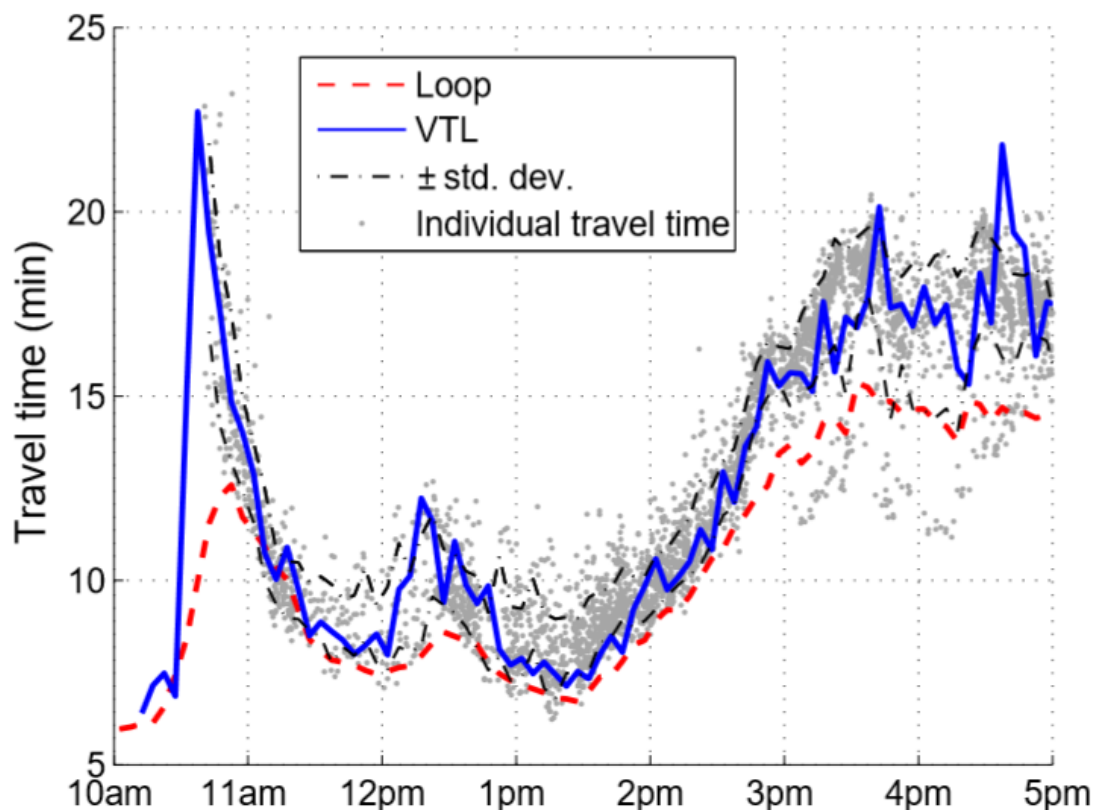
O trabalho de Herrera *et al.* (2010) também avalia a qualidade dos dados de monitoramento de tráfego através do uso das câmeras. Suas contribuições principais são no

desenvolvimento de uma estratégia para monitoramento de tráfego chamada Virtual Trip Lines (VTL) e na avaliação de dados dos GPS fornecidos pelos *smartphones* ao utilizarem VTL. Na avaliação de dados do GPS, os autores mencionam que só é preciso ter entre 2% e 3% do total de carros registrados na via, para ter uma medição precisa da velocidade do fluxo de tráfego. Para isso, os autores comparam dados de três diferentes tecnologias: Dados das câmeras de vídeo, VTL e Loop Detector. Loop Detector que é um equipamento que consegue identificar veículos e sua velocidades em um determinado local. O VTL também identifica veículos, mas utiliza, para isso, o GPS acoplado aos *smartphones* através de um aplicativo desenvolvido pelos autores.

Para efeito de comparação os autores têm como dados considerados reais os que foram capturados pelas câmeras de altas resolução instaladas na mesma via onde estão o Loop Detector e o VTL. Eles mencionam que os dados de vídeo são precisos o suficiente para fornecer o tempo de viagem exato dos veículos.

As informações capturadas, transmitidas pela tecnologia VTL, foram utilizadas para produzir o tempo de viagem e velocidade em tempo real, que foram transmitidas durante oito horas para uma base de dados.

Figura 6 - Comparação das tecnologias utilizadas por Herrera et al. (2010)



Fonte: Herrera et al. (2010).

Na Figura 6, estão representados os dados da câmera de vídeo (dados individuais representados por pontos e dados agrupados a cada 5 minutos apresentados por traços), o Loop Detector e a metodologia VTL, que utiliza o GPS dos *smartphones*. É possível perceber, visualmente, que os dados do tempo de viagem VTL se aproximam muito mais dos dados das câmeras (considerados reais) do que do Loop Detector, mostrando assim uma eficiência maior na sua precisão. Os autores avaliam como positivo o resultado para a utilização do VTL.

Nenhum dos trabalhos pesquisados utiliza informações de tráfego disponível em serviços de mapas na Web. A próxima seção discute essa tecnologia e apresenta os seus principais serviços disponíveis.

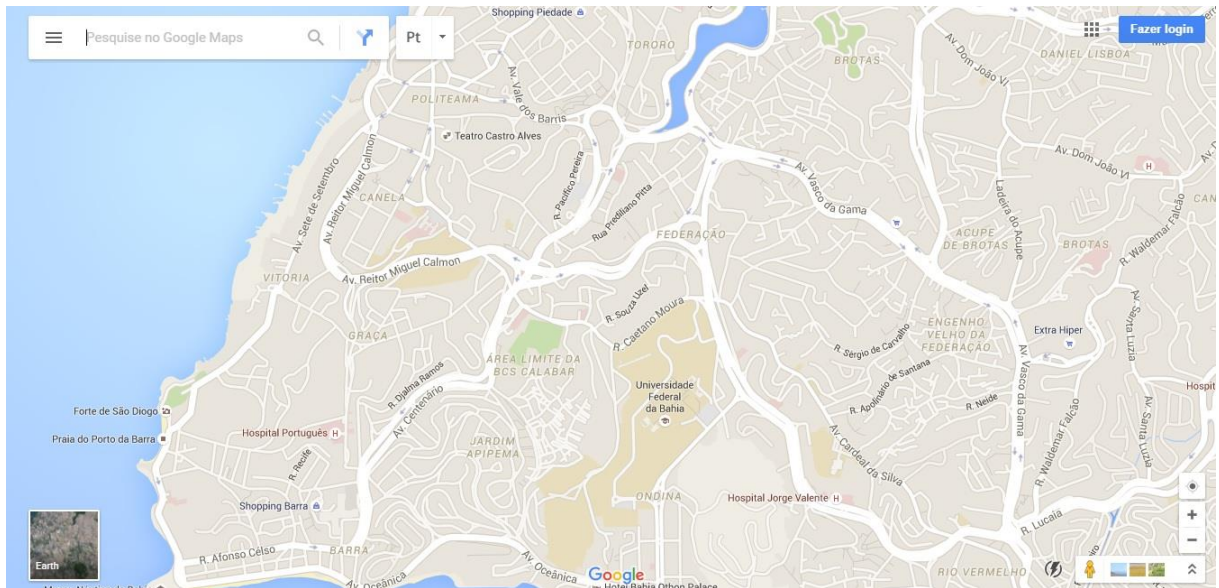
2.3 INFORMAÇÃO DE TRÂNSITO NA WEB

O armazenamento e coleta de dados sobre a distribuição geográfica das cidades, bairros, estados, ruas e avenida, até pouco tempo atrás, era feito apenas em documentos e mapas em papel, dificultando muito uma análise que juntasse mapas com as informações coletadas. Entretanto, com o aprimoramento do computador e das suas tecnologias, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional através de Sistemas de Informações Geográficas para WEB (SIGWEB) (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2015).

Os SIGWEB utilizam serviços de mapas na WEB para apresentar os seus dados. Neles o usuário pode visualizar a malha viária de diversos pontos das cidades do mundo. Como principais exemplos destes serviços, podemos citar o *Google Maps*, *Microsoft Bing Maps* e o *OpenStreetMaps*.

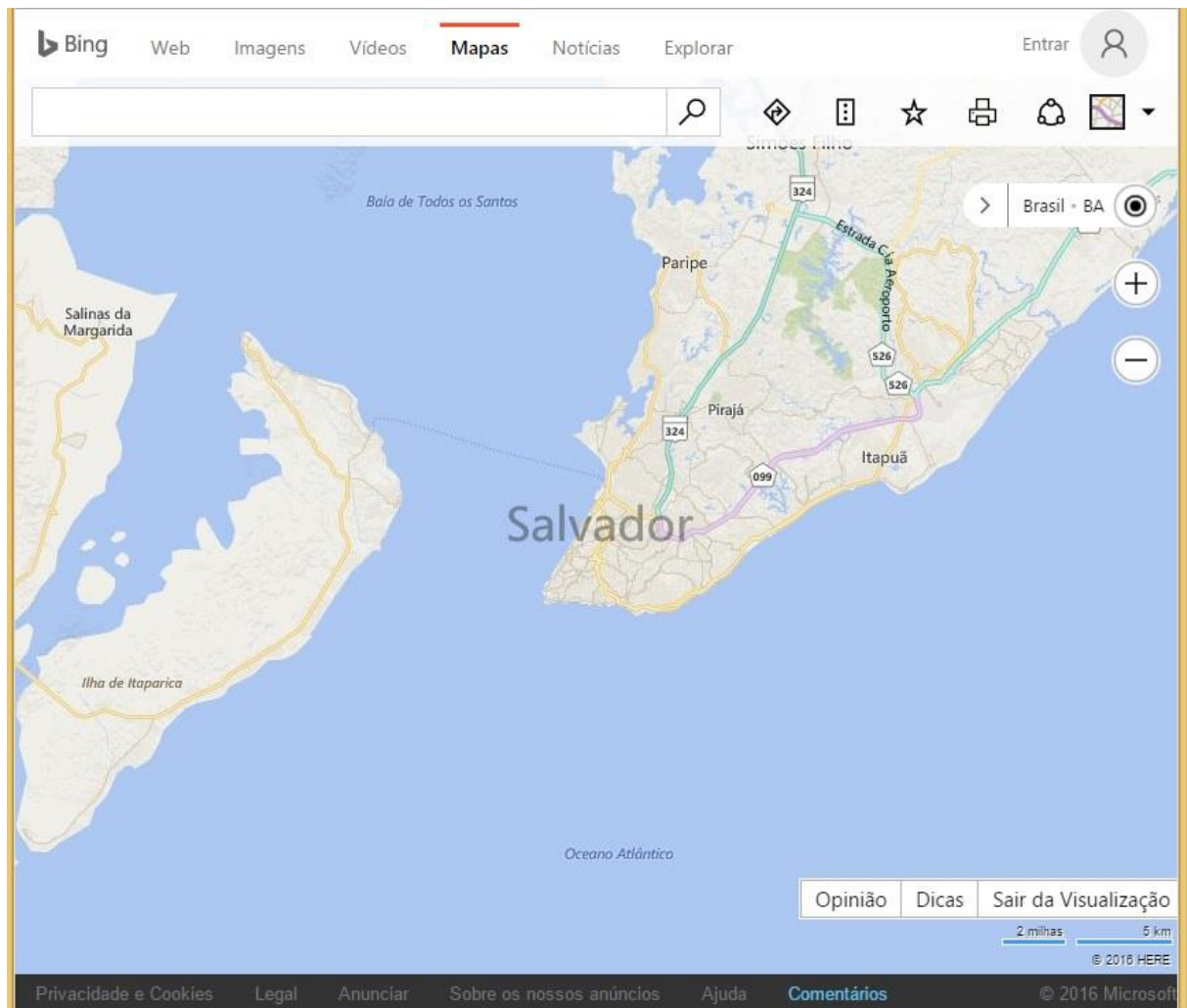
O *Google Maps* é o serviço de visualização de mapas na WEB desenvolvido pela *Google*. O *Google Maps* possui uma *Application Program Interface* (API), que tem como objetivo fornecer um conjunto de classes para a construção de páginas HTML com mapas. O *Google Maps* permite a visualização de três maneiras: *Maps* (mapa), onde pode ser visto nomes de ruas, cidades, dentre outros pontos de interesse; *Satellite* (imagem de satélite), onde estão disponíveis as imagens de satélite; *Street View*, que é a visualização no nível da rua (Figura 7).

Figura 7 - Visualização utilizando o *Google Maps*



Fonte: GOOGLE (2015).

O *Bing Maps* é o serviço de mapas na WEB desenvolvido pela Microsoft, muito semelhante ao *Google Maps*. O *Bing Maps* fornece diversas funcionalidades e é possível integrá-los a diversos softwares da Microsoft. Nele, é possível visualizar imagens de satélite e navegação em mapas, permitindo, assim como o *Google Maps*, a interação com seus componentes visuais (Figura 8).

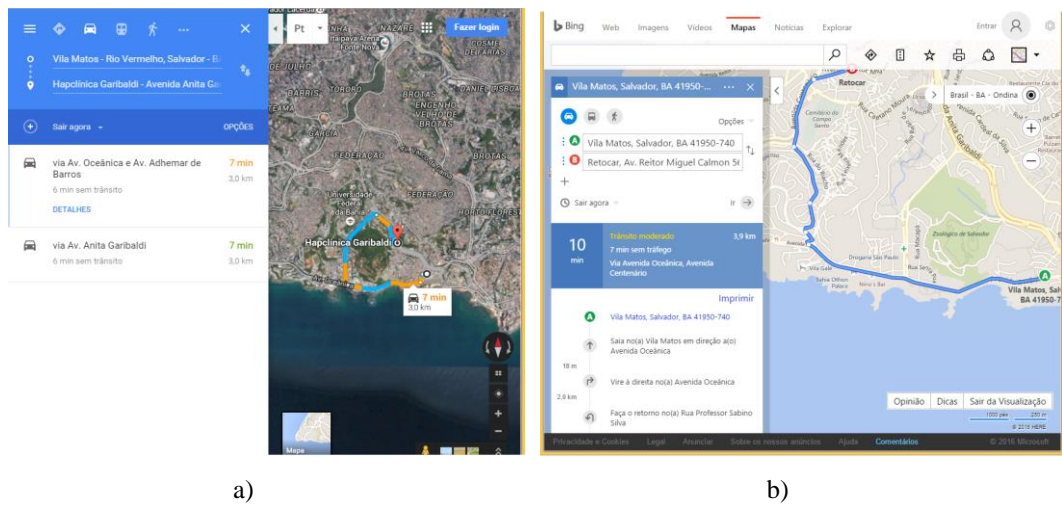
Figura 8 - Visualização utilizando o *Bing Maps*

Fonte: BING (2016).

É possível perceber o esforço da Microsoft e da Google para expandir a sua malha viária adicionando também novos recursos e melhorias para os seus serviços. Além de mapas interativos e estáticos, a plataforma *Bing Maps e Google Maps* fornece através das suas API, opções para os desenvolvedores de sistemas utilizarem os mapas para criar aplicações SIGWEB.

Além das funcionalidades mencionadas anteriormente, o *Bing Maps* e o *Google Maps* disponibilizam camadas de trânsito em que o usuário pode visualizar o tempo de viagem dos veículos sobre as vias em determinado trechos da cidade (Figura 9).

Figura 9 - Camadas de trânsito: a) *Google Maps*; b) *Bing Maps*



Fonte: Própria autoria (2016).

O Google e o Bing não deixam muito claro como é realizado o cálculo da velocidade dos veículos. Por conta disso, há uma certa desconfiança dos usuários do sistema de transporte sobre a qualidade e veracidade da informação do tráfego fornecida por esses serviços de mapas na Web. Uma certeza é que essas empresas utilizam o sinal do GPS, através de celulares e veículos particulares, para fornecer a informação da velocidade de deslocamento de cada usuário em uma via.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa, considerou-se os trabalhos correlatos que, de alguma maneira, gerenciassem o trânsito, com os objetivos principais de melhorar a sua fluidez e apresentar métricas que avaliem o seu desempenho. A análise de tais trabalhos tem o objetivo de aumentar o entendimento dos conceitos de cada parte da ferramenta desenvolvida.

Dentre os trabalhos pesquisados, não foi identificado na literatura, nenhum sistema que analisasse o impacto de eventos no fluxo de veículos e utilizasse dados coletados dos serviços de mapas na WEB que forneçam informações em tempo real sobre as condições de tráfego.

Um objetivo desse trabalho é desenvolver uma ferramenta para o gerenciamento e detecção de engarrafamentos não recorrentes utilizando serviços de tráfego de mapas disponíveis na WEB, representando a informação obtida através das principais métricas coletadas e possíveis com os dados fornecidos. O outro objetivo é avaliar a confiabilidade e

qualidade dos dados de trânsito fornecidos pelas API disponibilizadas através dos serviços de tráfego de mapas na WEB.

A próxima seção apresenta uma metodologia para medir o impacto que um determinado evento causa no trânsito, fornecendo um aparato de ferramentas avaliativas para o usuário. Acessando a base de dados do *OpenStreetMaps* (OSM) e utilizando os dados de tráfego fornecidos pelo *Bing Maps* é possível construir ferramentas para a análise do impacto que eventos causam no trânsito. Esses eventos são os principais precursores dos congestionamentos não recorrente

3 METODOLOGIA PARA AVALIAR O CONGESTIONAMENTO NÃO RECORRENTE UTILIZANDO INFORMAÇÕES DE TRÂNSITO COLETADAS POR SERVIÇOS DE MAPAS NA WEB

A literatura mostra diversas ferramentas que tem como objetivo principal o monitoramento e gerência do trânsito. Os dados de tráfego das vias são coletados, por diversos sensores, e demonstrados através de métricas que refletem o desempenho do comportamento do trânsito. Os sensores utilizados por esses trabalhos coletam, a todo o momento, dados de tráfego dos veículos, tendo como consequência disso uma grande quantidade de dados que são armazenados e que, muitas vezes, não precisarão serem utilizados para a avaliação do comportamento do trânsito. Existem trechos que raramente tem o seu nível de congestionamento alterado, e tem outros que, em certos horários, tem normalmente um alto nível de congestionamento. Quando ocorre um evento nem todas as vias próximas a ele são influenciadas. Normalmente só são influenciadas aquelas vias que de algum modo se conectam a via principal, local onde ocorre o evento em questão.

A análise do impacto no trânsito causado por eventos não recorrentes requer uma base de dados da rede viária atualizada, uma fonte de informação que defina a localização do evento próximo ao instante em que ele ocorre, alguma técnica de geoprocessamento que permita extrair da rede viária somente as vias impactadas pelo evento, uma forma de coletar as informações sobre o fluxo de veículos nas vias de interesse e enquanto perdurar a ocorrência do evento, e continuar monitorando os mesmos locais por um certo período de tempo para criar o padrão do fluxo de veículos com e sem a ocorrência do evento. Todo este processo tem que ser baseado na obtenção de informações de fontes livres, abertas e/ou gratuitas.

Este capítulo explica, com detalhes, a metodologia proposta para a realização do monitoramento de trânsito quando ocorrem eventos (principais causadores dos congestionamentos não recorrentes).

A metodologia propõe a detecção do evento através da informação da sua coordenada geográfica fornecida por um usuário ou por um sistema. Além da informação dessa coordenada, é necessário fornecer também um raio máximo de distância que irá conter os trechos selecionados que poderão ser monitorados.

O algoritmo de extração das vias de interesse deverá operar sobre a base de uma rede viária e considerar a distância ao evento, a direção do fluxo e as interseções entre as vias para identificar somente trechos de vias impactados pela ocorrência de um certo evento em um determinado local. Depois disso, faz-se necessário estabelecer um método que permita extrair

as informações de fluxo de veículos dos serviços de mapas na Web. Esses serviços possuem um limite máximo de requisições por dia para evitar a sobrecarga de acesso à sua base de dados. O algoritmo de extração das vias de interesse irá auxiliar na redução da quantidade dessas requisições por ignorar as vias que não possuem relação com a via principal em que ocorre o evento. As empresas que utilizam serviços de trânsito de mapas na Web não disponibilizam o acesso as suas bases de rede viária. Este trabalho utilizou para realizar a seleção das vias uma base de dados pública e gratuita que contém a informação da rede viária.

Serão extraídas as coordenadas (iniciais e finais) das extremidades das vias (arestas) selecionadas pelo algoritmo para realizar consultas sobre o tempo de viagem instantâneo dos veículos que circulam nessas vias. Essa extração é realizada em um intervalo de tempo determinado pelo usuário.

Com os dados do tempo de viagem já armazenados, deve ser possível refletir ao usuário, através de componentes visuais, a informação de desempenho do comportamento do trânsito.

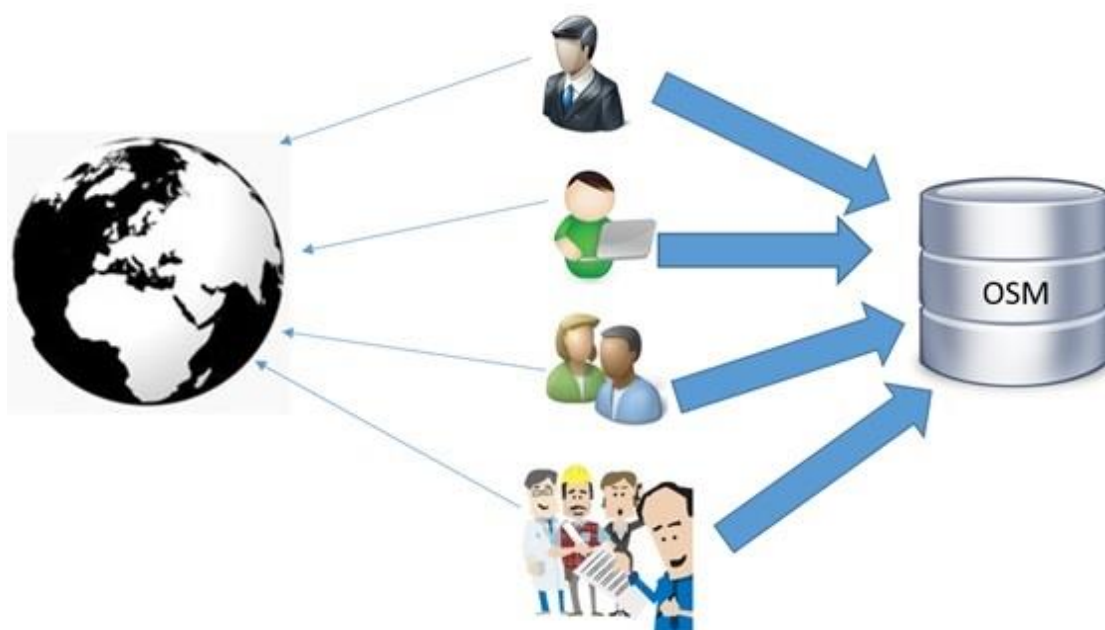
Na próxima seção será demonstrado, de formada detalhada, a utilização da malha viária na metodologia apresentada por este trabalho.

3.1 BASE DE DADOS DA MALHA VIÁRIA

Uma das características inovadoras da solução proposta para avaliação do impacto de eventos no trânsito é a capacidade de identificação automática de pontos de monitoramento em função da localização do evento. Essa identificação só foi possível devido a utilização da base de dados do *OpenStreetMaps*.

O *OpenStreetMaps* (OSM) é um projeto desenvolvido por uma comunidade de usuários voluntários e tem como objetivo a construção da malha viária existente no planeta. Os dados da malha viária são submetidos para um repositório de dados geográficos, validados por usuários também voluntários, mas com um nível de expertise e confiabilidade mais avançado do que os usuários comuns. Os dados após tratamento e verificação são disponibilizados de forma livre e gratuita (Figura 10).

Figura 10- Informações voluntárias são inseridas na base de dados do OSM por uma comunidade de voluntários



Fonte: Própria autoria (2016).

O OSM utiliza informações voluntárias geográficas (VGI - *Volunteered Geographic Information*) inseridas na sua base de dados através dos usuários cadastrados. A maioria dos trabalhos relacionados com o OSM e trânsito, utilizam a base de dados do OSM para realizar simulação de tráfego, como por exemplo a pesquisa de Zilske *et al.* (2011).

Zilske *et al.* (2011) descreve o comportamento do sistema, desenvolvido por eles, avaliando a sua importância a estudos de trânsito acoplados a ela. Esse sistema é um pacote de software para micro simulação de tráfego em áreas urbanas que tem sido aplicado com sucesso na análise de política de transportes, estando disponível em uma base de código aberto.

O sistema desenvolvido por Zilske *et al.* (2011) é baseado em grafos da rede viária, onde os nós são interseções e as arestas são os trechos. Um grafo é um conjunto não-vazio de nós (vértices) unido com um conjunto de arcos (arestas), tais que cada arco conecta dois nós. As características de cada segmento de via são modeladas com três parâmetros: Capacidade de Fluxo, Velocidade Livre e Capacidade de Armazenamento. A Capacidade de Fluxo limita o número de veículos que podem ficar em um link (trecho) em cada período de tempo, enquanto a Velocidade Livre define um limite inferior para o tempo que cada carro tem para gastar em um link. A Capacidade de Armazenamento é o número máximo de veículos que pode conter em um link a qualquer dado momento.

Quando uma rede é construída a partir do OSM, o comprimento do link é obtido diretamente a partir da sua geometria. Esta é a única informação geométrica necessária para o modelo utilizado. A Velocidade Livre e a Capacidade de fluxo são características de tipos de via que foram identificados com os valores denominados pela *tag highway*.

O modelo de filas, utilizado por Zilske *et al.* (2011), cria nós direcionados para cada trecho, configurando duas direções somente para aqueles trechos que são marcados com a *tag oneway*.

A região de interesse do trabalho de Zilske *et al.* (2011) para o estudo foi uma típica área urbana. A rede de estradas da região de interesse foi fornecida a partir de links disponibilizados pelo *geofabrik* (Figura 11). O *geofabrik* é um site que permite extrair dados da rede viária do OSM especificando a seleção da região de interesse dentro de uma caixa delimitadora.

Figura 11 - Site do Geofabrik

The screenshot shows the Geofabrik website interface. At the top, there's a navigation bar with 'GEOFABRIK downloads'. Below it, the main heading is 'Download OpenStreetMap data for this region: Brazil'. There are several sections: 'Commonly Used Formats' listing files like 'brazil-latest.osm.pbf' and 'brazil-latest.shp.zip'; 'Other Formats and Auxiliary Files' listing 'brazil-latest.osm.bz2', 'poly_file', 'osm.gz_files', and 'raw_directory_index'; and 'Sub Regions' which states 'No sub regions are defined for this region.' To the right, there is a map of South America with Brazil highlighted in orange. At the bottom right, there are two informational boxes: one in English stating 'Not what you were looking for? Geofabrik is a consulting and software development firm based in Karlsruhe, Germany...' and one in German stating 'Nicht das Richtige dabei? Die Geofabrik ist ein auf OpenStreetMap spezialisiertes Beratungs- und Softwareentwicklungsunternehmen in Karlsruhe...'.

Fonte: Geofabrik (2016).

O ambiente de simulação, desenvolvido por Zilske *et al.* (2011), apresenta uma ferramenta de visualização interativa que pode exibir a localização atual de cada agente durante a simulação.

Zilske *et al.* (2011) citam que VGI irá desempenhar um grande papel em configurar e gerenciar cenários de simulação de tráfego em larga escala. Os autores explicam o funcionamento da base de dados do OSM, identificando as suas principais características,

tanto na geometria das vias quanto na lógica de transição entre as arestas e seus componentes de ligação. Através de informações simuladas, integraram-se as informações de tráfego na base OSM, a fim de representar os dados, refletindo visualmente nas camadas do sistema.

Assim como no trabalho de Zilske *et al.* (2011) este trabalho também utilizou os dados da malha viária do OSM fornecidos a partir do *geofabrik*. Foi necessário, para esta pesquisa, a extração dos dados do arquivo fornecido pelo *geofabrik* para um banco de dados geográficos. Para isso foi utilizado o sistema OSM2MSSQL4ROADS, inserindo os dados do arquivo do OSM no banco de dados SQL SERVER. Neste sistema, como demonstrado na Figura 12, o usuário fornece o caminho do arquivo baixado configurando as opções do servidor, para com isso iniciar o procedimento de extração e criação da base de dados.

Figura 12 - Tela principal do OSM2MSSQL4ROADS

The screenshot shows the main window of the 'OSM to MS-SQL for Roads' application. The interface includes several input fields and checkboxes. Red boxes and lines highlight specific areas with explanatory text:

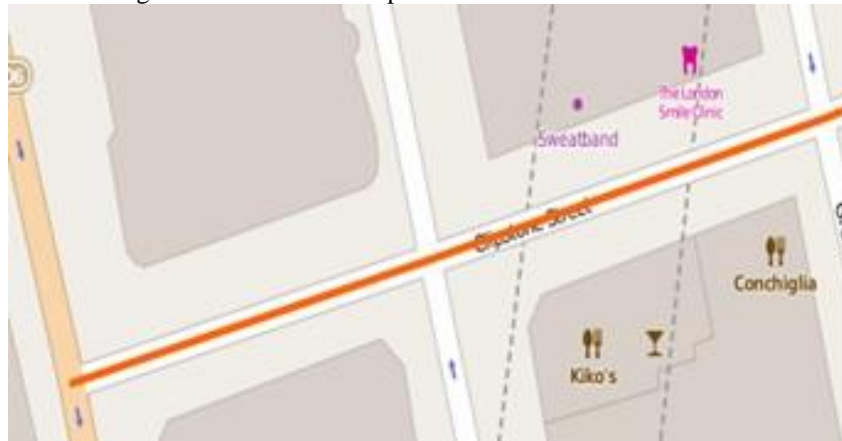
- Source File:** A text box containing the path 'C:_perso\MapProjects\Data\malaysia-singapore-brunei-latest.osm.pbf'. A red box highlights this field with the annotation: 'OpenStreetMap extract as OSM.BZ2 or OSM.PBF file.'
- Database Server:** A section containing 'Server Name: SERVER\SQL2012', a checked 'Windows Authentication' checkbox, and empty 'User Name' and 'Password' fields. A red box highlights this section with the annotation: 'SQL Server 2012 (or later) target database'.
- Target Database:** A dropdown menu set to 'OSMDB' and a 'Populate' button. A red box highlights this section with the annotation: 'Use Bulk Insert API'.
- Options:** Two checkboxes are visible: 'Clean Existing Data' (unchecked) and 'Use Bulk Insert' (checked). A red line points from the 'Use Bulk Insert' checkbox to the annotation: 'Remove existing tables and reload data'.
- Temporary File:** A text box containing '%TEMP%\Temp.db' and a note '(The file can be "very" large. Please ensure plenty of space...)'. A red box highlights this section with the annotation: 'Location of the temporary database'.

At the bottom of the window, there is a 'Proceed' button and a copyright notice: '(Copyright 2013 Laurent Dupuis www.dupuis.me)'.

Fonte: <http://www.dupuis.me/node/36>.

O sistema viário no OSM é armazenado em uma estrutura do tipo grafo. As arestas são representadas por segmentos de retas (trechos). Desta forma, uma aresta pode representar uma única via, no caso de vias retas, ou através de várias pequenas arestas para representar os trechos curvos das vias (Figura 13).

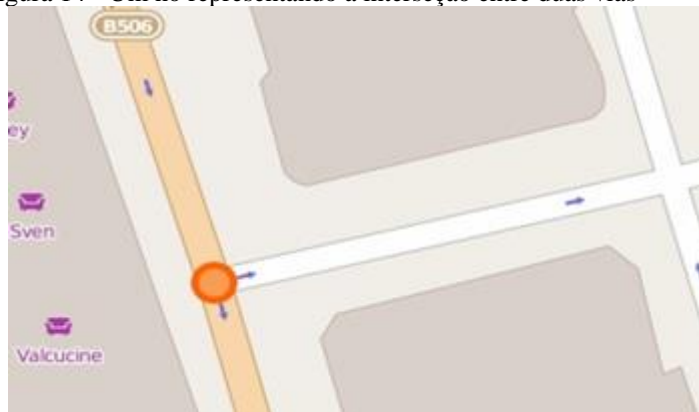
Figura 13 - Uma aresta representando uma via reta



Fonte: OSM (2015).

Os nós do grafo são interseções entre as vias ou a transição entre as pequenas arestas utilizadas em trechos curvos (Figura 14).

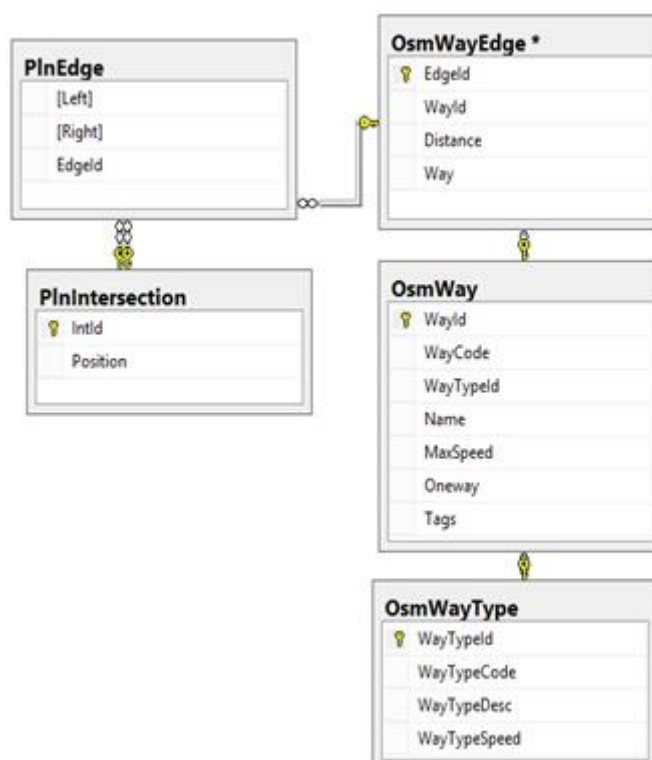
Figura 14 - Um nó representando a interseção entre duas vias



Fonte: OSM (2015).

As entidades, nós e arestas, são armazenadas na base de dados do OSM em tabelas distintas (Figura 15). As arestas são armazenadas na tabela *OsmWay* e *OsmWayEdge*. Na primeira tabela se encontram os dados característicos da via como Velocidade máxima, Nome e Sentido. Na segunda tabela são fornecidos os dados geométricos da via, como a Distância e o Caminho (*Way*, em inglês). O caminho é uma coleção de nós que define uma polilinha de arestas retas que correspondem ao desenho geométrico da via.

Figura 15 - Esquema da base de dados do projeto OSM e do monitoramento de trânsito



Fonte: Própria autoria (2016).

Um atributo importante para este trabalho é o *oneway* da tabela *OsmWay*. Este atributo possui o valor 0 para mão dupla, 1 para mão única no sentido do desenho da aresta e 1 para mão única no sentido contrário ao do desenho da aresta. Essa *tag* é utilizada na metodologia para saber se será necessário mais de uma requisição de tempo de viagem para o mesmo trecho, uma para um sentido e outra para o sentido contrário.

3.2 MONITORAMENTO DE EVENTOS

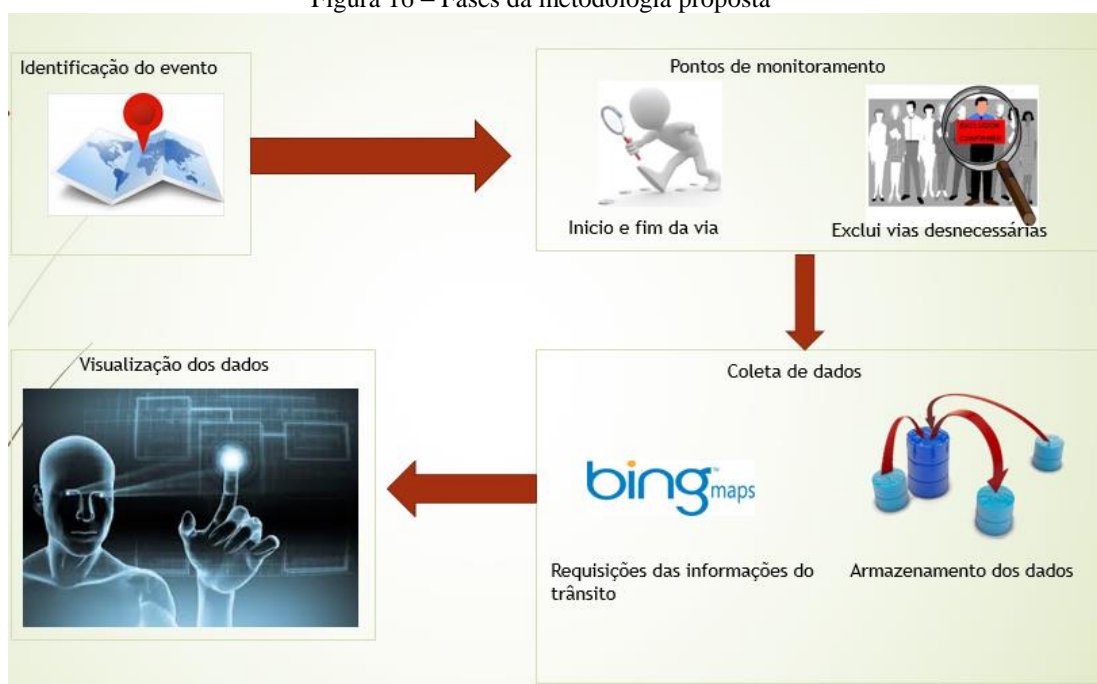
A metodologia proposta por este trabalho utiliza informações coletadas através de dois serviços de mapas disponíveis na Web: O OSM e o *Bing Maps*. O OSM é utilizado como a fonte de informação do sistema viário por conta do acesso livre a sua imensa base cartográfica. Como o OSM ainda não contempla informações de trânsito em tempo real, o *Bing Maps* é utilizado para obter essas informações por conta também de fornecer uma *chave trial* (chave temporária utilizada para teste).

Como a metodologia engloba a análise do comportamento do trânsito quando ocorrem eventos, o primeiro passo a ser realizado é a sua identificação. O local do evento pode ser

definido diretamente por uma pessoa ou captado de informações de redes sociais ou de sistemas de monitoramento de trânsito. Quando o evento é definido diretamente por uma pessoa, ela deverá informar ao sistema uma coordenada geográfica referente a localização do evento. Essa coordenada poderia ser capturada também, por exemplo, através de redes sociais como o Waze. O Waze é uma rede social em que o usuário pode compartilhar e adquirir informações sobre condições do tráfego e ocorrências de certos tipos de eventos em uma determinada localidade. O Waze, por exemplo, poderia fornecer um serviço Web que disponibilizasse, em tempo real, as informações das coordenadas dos eventos postados pelos usuários. Através desse serviço, um sistema que utilize a metodologia proposta poderia iniciar o processo de monitoramento para cada um desses eventos. Os agentes de trânsito da prefeitura detectam, através das câmeras, eventos como acidente de trânsito e manifestação. Esses agentes inserem a informação da localização de cada evento em uma base de dados através dos seus sistemas de gerenciamento de trânsito. Neste momento, utilizando a metodologia proposta por esse trabalho, daria início ao monitoramento do evento cadastrado por este agente.

Uma vez definido o local do evento, um algoritmo identifica as vias de interesse em seu entorno delimitando o início e o fim dos segmentos dos trechos que serão monitorados. A metodologia, como demonstrado na Figura 16, foi dividida em quatro fases: Identificação do evento, Pontos de monitoramento, Coleta de dados e Visualização dos dados.

Figura 16 – Fases da metodologia proposta



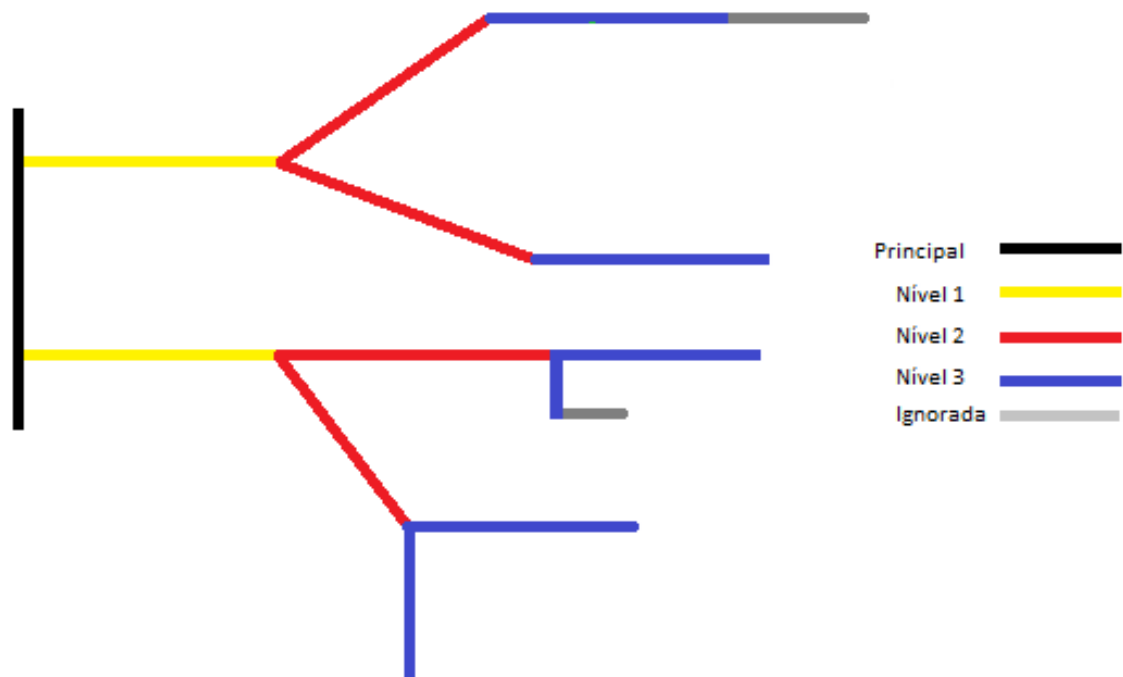
Fonte: Própria autoria (2016).

A fase de Identificação do evento consiste em coletar as coordenadas de um determinado evento que o usuário pretende monitorar. Apenas no início e fim do monitoramento será necessário a interação do usuário com o sistema. No restante a interação entre os módulos ocorrerá de forma independente.

Na fase Pontos de monitoramento é proposto um algoritmo, que será demonstrado mais a frente, para identificar as arestas (vias) mais próximas de um evento através das conexões existentes entre os seus vértices. Essa identificação é realizada utilizando base de dados do OSM.

Os relacionamentos entre as vias foram divididos em três níveis: Nível 1, Nível 2 e Nível 3. As vias que se relacionam diretamente com a via principal (local do evento) são consideradas vias Nível 1. As vias Nível 2 são todas aquelas que fazem alguma conexão com as vias do Nível 1. As vias Nível 3 são as vias que fazem conexão com as vias do Nível 2. Essas vias são monitoradas desde que estejam dentro da área de influência delimitada pelo *buffer* (raio de distância atingido pelo evento) representada pela figura geométrica. Nessa fase ainda são identificadas as coordenadas iniciais e finais de cada trecho (Figura 17).

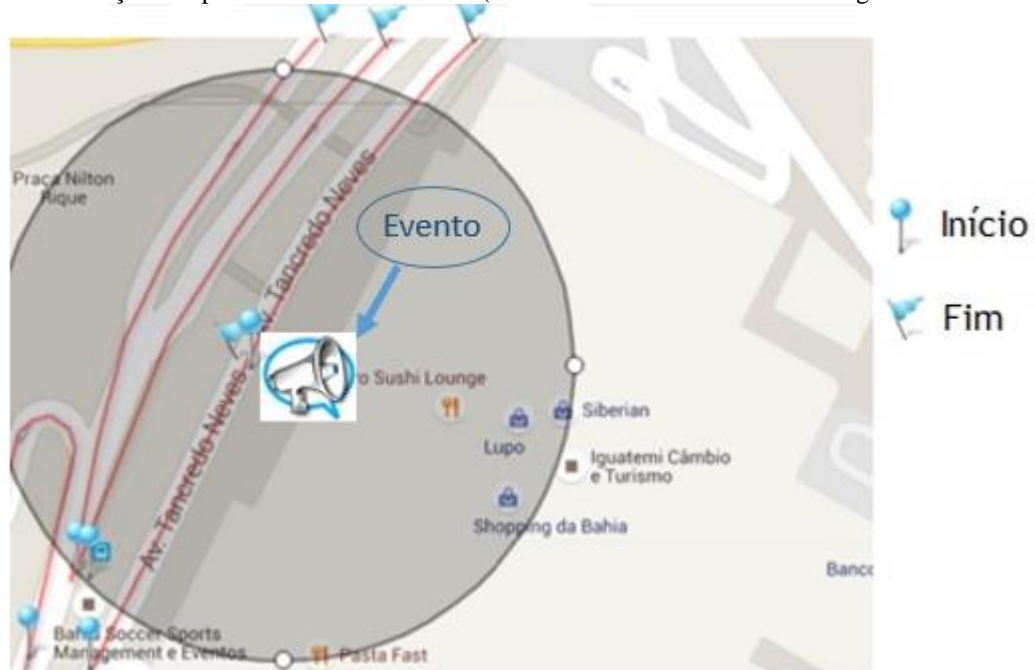
Figura 17 - Descrição dos níveis dos trechos que poderão ser monitorados



Fonte: Própria autoria (2016).

A Figura 18 ilustra uma interface para definição manual do evento de trânsito. O usuário pode definir o local do evento em um mapa e especificar o raio do círculo da área a ser monitorada (*buffer*). Uma vez definido o local e o tamanho da área, o algoritmo identifica automaticamente todos os segmentos da malha viária que serão monitorados. Estes segmentos estão destacados na Figura 18 (linhas vermelhas) e estão delimitados por dois ícones (início e fim).

Figura 18 - Exibição dos pontos de monitoramento (coordenadas iniciais e finais dos segmentos monitorados)



Fonte: Própria autoria (2016).

A Figura 19 demonstra o pseudocódigo do algoritmo proposto. Na primeira etapa, o algoritmo identifica a via (aresta) principal do evento através de uma query espacial executada no banco de dados (linha 13). Este teste é computacionalmente de baixa complexidade, pois executa um procedimento de seleção espacial simples. Após essa identificação, na etapa seguinte, o algoritmo detecta, através da base do OSM, as vias que fazem interseção com a via principal, inserindo-as na lista das vias Nível 1 (linha 15 a linha 18). Esse algoritmo utiliza as interseções das vias para identificar a relação entre elas. Este teste é computacionalmente mais caro que o anterior, pois considera a geometria de cada segmento na comparação com a área de influência, sempre respeitando o *buffer* delimitado. Na outra etapa, o algoritmo identifica também todas as vias que fazem interseções com as vias Nível 1 e que estiverem inseridas no *buffer* da área de influência, caracterizando-as como vias Nível 2 (linha 19 a linha 22). O teste computacional para a identificação das vias Nível 2 é tão custoso quanto o da etapa anterior. Utilizando as vias de Nível 2, o mesmo procedimento é utilizado para a seleção das vias de Nível 3 (linha 25 a linha 30). Cada segmento que atenda os critérios estabelecidos é acrescentado à lista de segmentos a serem monitorados.

 Figura 19 – Pseudocódigo do algoritmo proposto de seleção das vias da área de influência

```

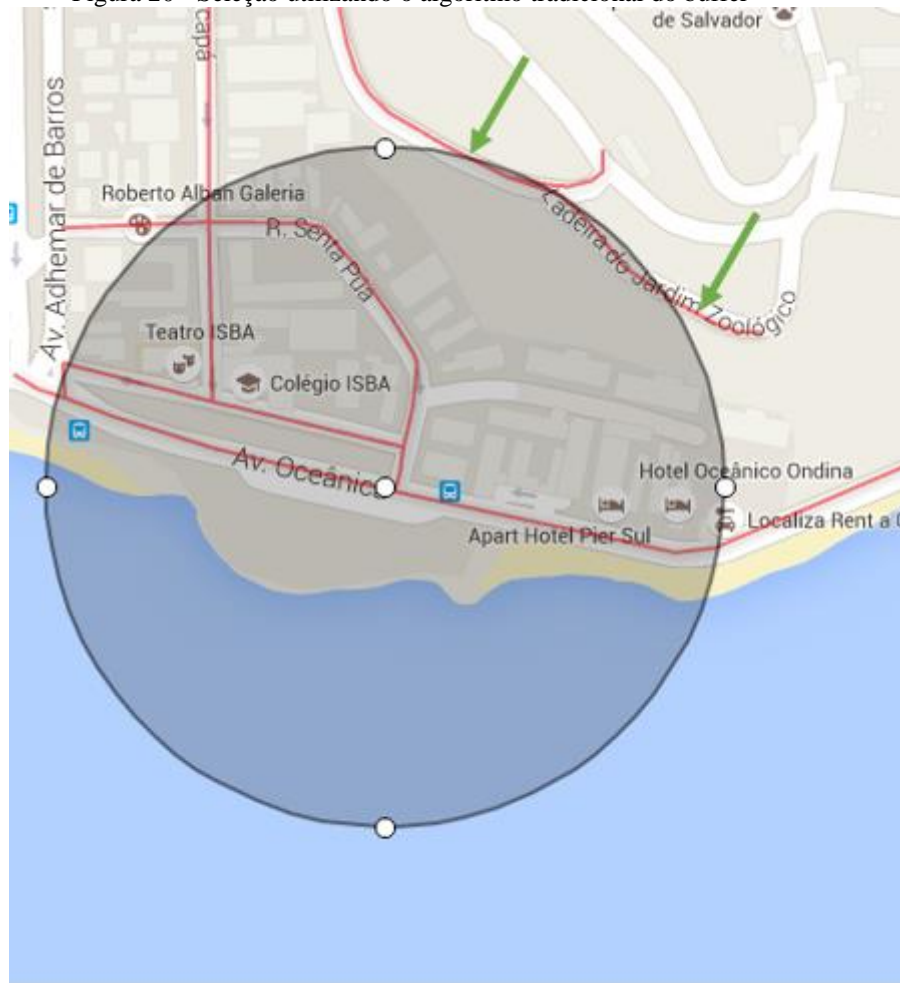
1. INPUT:
2. Evento ev;           // Coordenadas de localização do evento
3. Buffer buf;         // Tamanho do buffer utilizado para área de influencia
4. Via[] Vias         // Coleção de Todas as vias da base do OSM
5. Vertices
6. ViaPrincipal viaPrincipal // Via principal onde ocorreu o evento
7. ViasNivel1 [] Vias
8. ViasNivel2 [] Vias
9. ViasNivel3 [] Vias
10. OUTPUT:
11. Segmento[] Seg; // Coleção de segmentos de uma via dentro ou que
12.                // intercepta a área de influência
13. viaPrincipal->contains(ev) // Detecção da onde ocorre o evento.
14. METHOD:
15. FOR EACH Vertices v IN viaPrincipal DO
16.   ViasNivel1 = ListaDeSegmentosAdjacentes(v,buf);
17.   Seg-> Seg+ ViasNivel1
18. END FOR
19. FOR EACH Segmento s IN ViasNivel1 DO
20.   FOR EACH Vertices v IN s DO
21.     ViasNivel2-> ListaDeSegmentosAdjacentes(v,buf);
22.     Seg-> Seg+ ViasNivel2
23.   END FOR
24. END FOR
25. FOR EACH Segmento s IN ViasNivel2 DO
26.   FOR EACH Vertices v IN s DO
27.     ViasNivel3-> ListaDeSegmentosAdjacentes(v,buf);
28.     Seg-> Seg+ ViasNivel3;
29.   END FOR
30. END FOR
31. END METHOD
32. End

```

Fonte: Própria autoria (2016).

O algoritmo em questão resolve um problema do algoritmo tradicional do *buffer* de área de influência. Nesses casos, algumas das informações que estão na seleção geográfica não têm nenhuma relação de conexão uma com a outra. Na Figura 20 é possível ver que o *buffer* atingiu vias, identificadas por uma seta verde, que não fazem nenhum tipo de conexão com a via principal onde o evento ocorreu (centro do círculo).

Figura 20 - Seleção utilizando o algoritmo tradicional do buffer



Fonte: Própria autoria (2016).

Com o algoritmo aplicado, as únicas vias que serão monitoradas são aquelas que fazem algum tipo de conexão com a via principal, e que, estejam inseridas no buffer delimitado pelo usuário. A Figura 21 mostra o resultado da aplicação do algoritmo proposto utilizando como coordenada do evento a mesma utilizada pela Figura 20. É possível perceber que as vias que não tem nenhum tipo de ligação com a via principal foram descartadas do monitoramento.

O algoritmo de detecção das vias foi testado, informando diversas coordenadas, em pontos pela cidade, e as vias retornadas foram as mais próximas, obedecendo sempre as regras dos níveis.

Figura 21 - Seleção utilizando o algoritmo proposto



Fonte: Própria autoria (2016).

Uma vez identificado os pontos iniciais e finais dos segmentos das vias a serem monitorados (Pontos de Monitoramento), é iniciada a fase Coleta de dados. Nessa fase é utilizado o serviço de tráfego de mapas na Web, para posicionar “coletores” em cada um desses pontos, solicitando requisições do tempo de viagem dos veículos de um ponto para o outro, em tempo real, em um intervalo de tempo determinado pelo usuário.

O usuário pode, por exemplo, solicitar a requisição do tempo de viagem a cada 2 minutos, e monitorar o trânsito durante uma hora. Em uma ferramenta automática o sistema poderia ser previamente configurado para iniciar com uma determinada configuração. Esses dados são armazenados em um banco de dados e serão utilizados na próxima fase.

Figura 22 - Tabela adicionadas ao esquema de dados do projeto OSM

tbl_medicao *	
pk_medicao	
data	
duracaoAtual	
distancia	
edgeld	
sentido	
fk_monitoramento	

tbl_monitoramento *	
id	
titulo	
descricao	
data	
fk_usuario	
latitude	
longitude	
buffer	
fk_tipo_monitoramento	
fk_monitoramento	

Fonte: Própria autoria (2016).

O esquema de dados do projeto OSM foi modificado com a inclusão das tabelas `tbl_medicao` e `tbl_monitoramento` (Figura 22). A `tbl_monitoramento` é responsável por armazenar os dados referentes ao evento, armazenando a sua localização geoespacial através dos campos: latitude, longitude e *buffer*. O campo `fk_monitoramento` é responsável por informar se aquele é o evento principal, ou se ele será monitorado para servir como parâmetro de comparação a outro evento na mesma localidade. Os outros campos servem para configurar a característica daquele evento, como a hora exata em que ele foi monitorado. A `tbl_medicao` é a tabela que armazena a informação da duração do tempo de viagem dos veículos para um determinado trecho.

Na última fase, que é a Visualização de dados, as informações de trânsito coletadas são disponibilizadas e exibidas através de métricas de trânsito, mostrando a informação armazenada através de gráficos e indicadores, no qual, o usuário poderá visualizar o histórico do comportamento do trânsito quando ocorreu o evento.

Na próxima seção serão avaliados e discutidos os dados de trânsito fornecidos por um serviço de tráfego de um mapa disponível na Web, comparando-os com dados coletados por Semáforos Inteligentes.

4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA INFORMAÇÃO DA CAMADA DE TRÁFEGO

Os dados de tráfego podem ser capturados por diversos sensores como radares, GPS e câmeras instaladas nas vias da cidade. A utilização destes sensores, entretanto, requer a aquisição de equipamentos sofisticados, demandam a implantação de uma infraestrutura mínima para coleta de dados e demandam pessoas com certo nível de especialização para manutenção e tratamento dos dados coletados. Recentemente, surgiram ferramentas e serviços de mapas na Web que fornecem alguns desses dados em tempo real. A informação mais relevante disponibilizada pelos serviços de mapas na Web é a velocidade média do fluxo de veículos nas vias. Atualmente, as informações oriundas dos serviços de mapa na Web estão sendo utilizadas pelos cidadãos, em geral, com o objetivo principal de gerenciar melhor o tempo de deslocamento e evitar os congestionamentos. Embora utilizem essa informação com bastante frequência, é comum ouvir dos usuários finais reclamações sobre a acurácia da informação. É preciso compreender, entretanto, que a informação disponibilizada busca representar a velocidade média da via e não a de um veículo em particular. Infelizmente, para o usuário final só é possível comparar a sua velocidade atual com a velocidade média da via. Não foram encontrados registros da utilização dessas informações em aplicações técnicas na área de Sistemas Inteligentes de Transportes.

O principal motivo para a não utilização da informação de trânsito disponibilizada pelos serviços de mapas na Web pelas aplicações na área de Sistemas Inteligentes é a falta de documentação da metodologia e dos mecanismos utilizados na coleta da informação. Este desconhecimento implica na impossibilidade da avaliação científica da qualidade e precisão da informação.

Uma forma de avaliar a qualidade dos dados fornecidos pelos serviços de tráfego disponibilizados na Web é comparar as informações oriundas desses serviços com os dados capturados por outros sensores considerados confiáveis por técnicos da área de transporte. Essa comparação deve ser feita utilizando uma grande massa de dados para que se tenha alguma significância estatística e que se possa realizar uma avaliação da qualidade e precisão da informação.

De forma a avaliar a qualidade dos dados obtidos da Web, este capítulo apresenta uma comparação desses dados com dados de Semáforos Inteligentes. Esta comparação visa identificar o grau de acurácia dos serviços de mapa na Web, permitindo que se tenha uma noção da precisão e confiabilidade desses dados.

4.1 COLETA DE DADOS

O Semáforo Inteligente é um equipamento que permite, entre outras funcionalidades, a realização da contagem do número de veículos e detecção da velocidade de cada um desses veículos. A Superintendência de Trânsito de Salvador (Transalvador) utiliza esses equipamentos para monitorar o trânsito em algumas vias da cidade.

Os Semáforos Inteligentes utilizados pela Transalvador detectam a velocidade dos veículos através de sensores Doppler. Esses sensores utilizam o efeito Doppler, um fenômeno físico observado nas ondas quando são emitidas ou refletidas por um determinado objeto que está em movimento, para capturar tal velocidade. Após a passagem do automóvel, estes sensores enviam sinais para o computador, que é acoplado ao equipamento.

Os registros da detecção dos veículos são armazenados, primeiramente, na base de dados do computador acoplado ao semáforo. Esses dados são enviados a cada meia hora, via modem celular, ao órgão de trânsito responsável, onde serão tratados e gerenciados de uma maneira segura. Os dados fornecidos pelos Semáforos Inteligentes possuem um alto grau de precisão das velocidades dos veículos que transitam em uma via.

Para o desenvolvimento da nossa avaliação dos dados disponibilizados pelos serviços de mapa na Web foram utilizados dados de três Semáforos Inteligentes, instalados em diferentes locais da cidade de Salvador (BA). Estes dados foram fornecidos pela Transalvador, através de um arquivo contendo a velocidade dos veículos e o momento em que eles foram detectados. Assim, para essa avaliação foi elaborado a seguinte estratégia:

- a) Localização dos semáforos existentes através de um arquivo disponibilizado pela Transalvador.
- b) Geocodificação dos pontos de partida e de chegada, posicionando a coordenada do semáforo no centro de cada trecho. Foram utilizados três trechos que tiveram a distância, de um ponto ao outro, em aproximadamente 30 metros (15 metros antes do semáforo e 15 metros após o semáforo).
- c) Extração dos dados do *Bing Maps*, coletando a informação do tráfego cada 1 minuto durante aproximadamente 15 dias.
- d) Realizar uma análise comparativa dos dados do tráfego coletados do *Bing Maps* com os dados coletados pelos semáforos

Os dados do fluxo de tráfego gerados por cada semáforo foram comparados com os dados fornecidos pela API *Routes* dos serviços REST disponibilizados pelo *Microsoft Bing Maps*.

A palavra REST (*Representational State Transfer*) é um padrão de arquitetura de serviços distribuídos, utilizado para realizar a comunicação entre servidor (fornecedor do serviço) e cliente (consumidor do serviço). Essa comunicação é feita através de métodos *http* (POST, GET e PUT) para transferir o estado de um objeto através de um formato padrão de troca de mensagens. O formato mais utilizado, atualmente, para realizar a comunicação de dados entre cliente e servidor é o JSON (*JavaScript Object Notation*). Na **Figura 23** é demonstrado um exemplo simples desse formato.

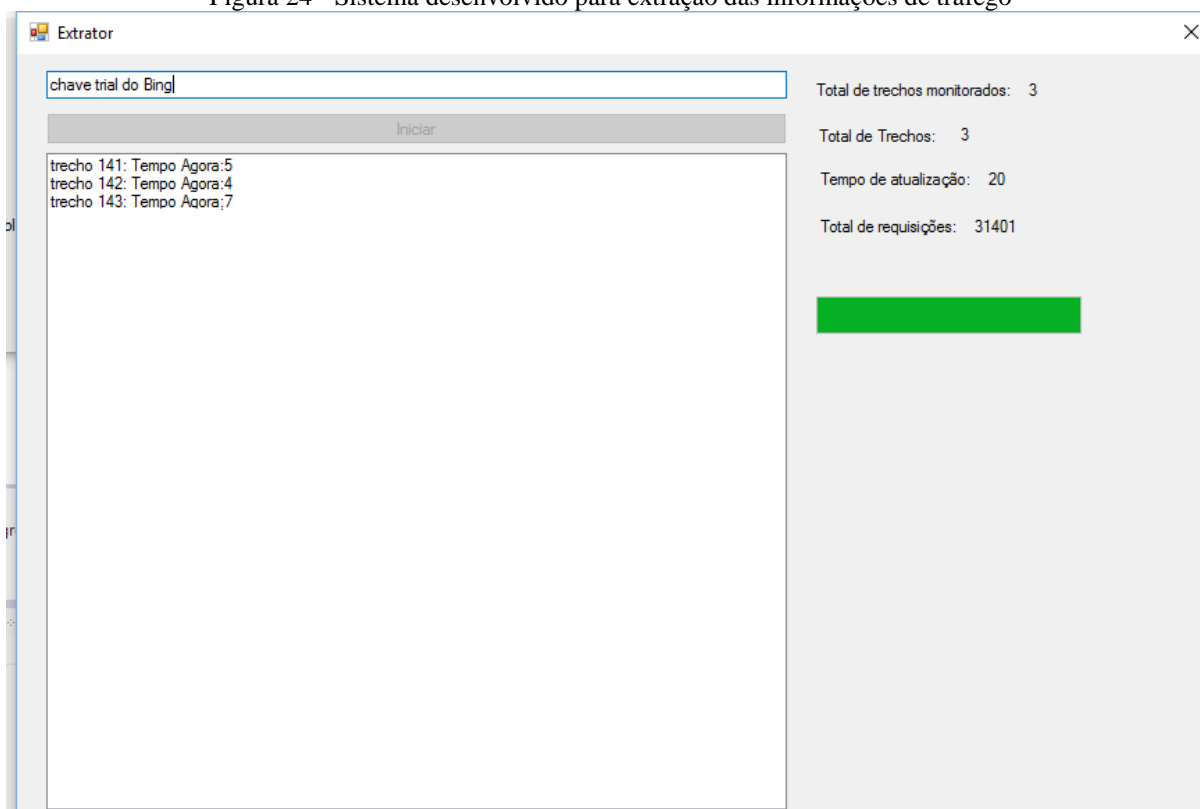
Figura 23 - Exemplo simples do formato de troca de mensagens JSON

```
{
  "nome": "José Silva",
  "idade": 35,
  "ativo": true,
  "endereco":
  {
    "logradouro": "Rua do José, 1119",
    "bairro": "Bairro do José",
    "cidade": "São Paulo",
    "estado": "SP"
  },
  "telefones": [ "9999-9999", "8888-8888" ]
}
```

Fonte: Martins (2010). <http://www.k19.com.br/artigos/webservice-restful-utilizando-json/>.

Foi desenvolvido um sistema, utilizando a plataforma .NET, que captura os dados de trânsito do *Bing Maps*, e os armazena em uma base de dados (Figura 24). O *Bing Maps* só disponibiliza o acesso, pela chave *trial*, dos dados da duração do tempo médio de viagem e a distância do trecho. Com esses dois dados é possível, também, calcular a velocidade média. O sistema foi executado em um computador no laboratório de pesquisas geoespaciais (GANGES) armazenando as informações em um banco de dados.

Figura 24 - Sistema desenvolvido para extração das informações de tráfego



Fonte: Própria autoria (2016).

A cada minuto, o sistema desenvolvido realiza requisições do tempo de viagem dos veículos que circulam nos trechos onde estão localizados os três Semáforos Inteligentes utilizados neste trabalho. Como a *API Routes* é incapaz de coletar informação de tráfego em uma única coordenada, foi utilizada a estratégia de centralizar o semáforo inteligente no meio de um trecho com a distância, entre as suas extremidades, de aproximadamente 30 metros. Essa foi a menor distância válida que a *API Routes* conseguiu fornecer um tempo de viagem válido, a todo momento, para cada trecho. Quando a distância foi menor, alguns momentos o retorno informado era de uma duração do tempo de viagem nula (valor 0).

As coordenadas iniciais e finais dos trechos (suas extremidades) correspondem aos pontos de partida e pontos de chegada. Esses pontos são necessários para efetuar a requisição do tempo de viagem utilizando a *API Routes*. A variável *wayPoint.1* corresponde as coordenadas iniciais, e a *wayPoint.2* corresponde as coordenadas finais (Figura 25).

Figura 25 - Execução de uma requisição utilizando a API Routes do Bing Maps

```
//Create the request URL
public string CreateRequest(string wayPoints)
{
    string URLRequest;
    URLRequest = "http://dev.virtualearth.net/REST/v1/Routes?"
        +"wayPoint.1=-13.00103,-38.504955&Waypoint.2=-12.99,-38.505921&key=chave";
    return (URLRequest);
}
```

Fonte: Própria autoria (2016).

A requisição realizada via API Routes retorna um arquivo, no formato JSON, com diversas informações sobre aquele trecho. A informação coletada em cada requisição foi a duração padrão do tempo de viagem, em segundos, representada no arquivo JSON pelo atributo *travelDurationTraffic* (Figura 26).

Figura 26 - Arquivo JSON disponibilizado pela API Routes do Bing Maps

```
{
  "authenticationResultCode": "ValidCredentials",
  "brandLogoUri": "http://dev.virtualearth.net/Branding/logo_powered_by.png",
  "copyright": "Copyright © 2016 Microsoft and its suppliers. All rights reserved. This API cannot be accessed and the content and any results may not be used, reproduced or transmitted in any manner without express written permission from Microsoft Corporation.",
  "resourceSets": [
    {
      "estimatedTotal": 1,
      "resources": [
        {
          "type": "Route",
          "route": "http://schemas.microsoft.com/search/local/ws/rest/v1",
          "bbox": [
            -13.001033, -38.504955, -12.996942, -38.504955
          ],
          "id": "v67,h186454286,i0,a0,cen-US,dAAAAAAAAA1,y0,s1,m1,o1,t4,wCPHq-YgAKsAOVYUa08BDwA2~BADFQznm7EVAADgAaEtLT4A0~QXZlBmlkYSBBbm10YSBHXYJpYmFsZGk1~v10,wgHq9g6v_KcAOVYUrw08BDwA2~BADFQzlrn7EVAADgAQAAGD8A0~QXZlBmlkYSBBbm10YSBHXYJpYmFsZGk1~v10,wLpLlMG_KcAAADBS3kBDwA2~BADFQzlrn7EVAADgASpH9j4A0~QXZlBmlkYSBBbm10YSBHXYJpYmFsZGk1~v10,k1",
          "distanceUnit": "Kilometer",
          "durationUnit": "Second",
          "routeLegs": [
            {
              "actualEnd": {
                "type": "Point",
                "coordinates": [-12.996942, -38.506769]
              },
              "actualStart": {
                "type": "Point",
                "coordinates": [-13.001033, -38.504955]
              },
              "alternateVias": [],
              "cost": 0,
              "description": "Avenida Anita Garibaldi",
              "itineraryItems": [
                {
                  "compassDirection": "northwest",
                  "details": {
                    "compassDegrees": 328,
                    "endPathIndices": [1],
                    "locationCodes": [
                      "B15+01942",
                      "B15P01942",
                      "B15+01943"
                    ],
                    "maneuverType": "DepartStart",
                    "mode": "Driving",
                    "names": [
                      "Avenida Anita Garibaldi"
                    ],
                    "roadType": "MajorRoad",
                    "startPathIndices": [0],
                    "exit": "",
                    "iconType": "Auto",
                    "instruction": {
                      "formattedText": null,
                      "maneuverType": "DepartStart",
                      "text": "Depart Avenida Anita Garibaldi toward Rua Agnelo Brito"
                    },
                    "maneuverPoint": {
                      "type": "Point",
                      "coordinates": [-13.001033, -38.504955]
                    },
                    "sideOfStreet": "Unknown",
                    "tollZone": "",
                    "towardsRoadName": "Rua Agnelo Brito",
                    "transitTerminus": "",
                    "travelDistance": 0.511,
                    "travelDuration": 44,
                    "travelMode": "Driving",
                    "details": {
                      "compassDegrees": 345,
                      "endPathIndices": [2],
                      "locationCodes": [
                        "B15+01943"
                      ],
                      "maneuverType": "ArriveFinish",
                      "mode": "Driving",
                      "names": [
                        "Avenida Anita Garibaldi"
                      ],
                      "roadType": "MajorRoad",
                      "startPathIndices": [2],
                      "exit": "",
                      "hints": [
                        {
                          "hintType": "NextIntersection",
                          "text": "If you reach Rua Doutor Nicito, you've gone too far"
                        }
                      ],
                      "iconType": "Auto",
                      "instruction": {
                        "formattedText": null,
                        "maneuverType": "ArriveFinish",
                        "text": "Arrive at Avenida Anita Garibaldi"
                      },
                      "maneuverPoint": {
                        "type": "Point",
                        "coordinates": [-12.996942, -38.506769]
                      },
                      "sideOfStreet": "Unknown",
                      "tollZone": "",
                      "transitTerminus": "",
                      "travelDistance": 0,
                      "travelDuration": 0,
                      "travelMode": "Driving",
                      "routeRegion": "WR",
                      "routeSubLegs": [
                        {
                          "endWaypoint": {
                            "type": "Point",
                            "coordinates": [-12.999369, -38.505921]
                          },
                          "description": "Avenida Anita Garibaldi",
                          "isVia": true,
                          "locationIdentifier": "4|7|69|67|57|81|155|177|21|0|0|224|1|0|0|128|63|0|-12.999369,-38.505921",
                          "routePathIndex": 1,
                          "startWaypoint": {
                            "type": "Point",
                            "coordinates": [-13.001033, -38.504955]
                          },
                          "description": "Avenida Anita Garibaldi",
                          "isVia": false,
                          "locationIdentifier": "4|7|69|67|57|193|155|177|21|0|0|224|1|161|45|45|62|0|-13.001033,-38.504955",
                          "routePathIndex": 0,
                          "travelDistance": 0.218,
                          "travelDuration": 25,
                          "endWaypoint": {
                            "type": "Point",
                            "coordinates": [-12.996942, -38.506769]
                          },
                          "description": "Avenida Anita Garibaldi",
                          "isVia": false,
                          "locationIdentifier": "4|7|69|67|57|81|156|177|21|0|0|224|1|42|71|246|62|0|-12.996942,-38.506769",
                          "routePathIndex": 2,
                          "startWaypoint": {
                            "type": "Point",
                            "coordinates": [-12.999369, -38.505921]
                          },
                          "description": "Avenida Anita Garibaldi",
                          "isVia": true,
                          "locationIdentifier": "4|7|69|67|57|81|155|177|21|0|0|224|1|0|0|128|63|0|-12.999369,-38.505921",
                          "routePathIndex": 1,
                          "travelDistance": 0.293,
                          "travelDuration": 18,
                          "travelDistance": 0.511,
                          "travelDuration": 43,
                          "trafficCongestion": "Medium",
                          "trafficDataUsed": "None",
                          "travelDistance": 0.511,
                          "travelDuration": 44,
                          "travelDurationTraffic": 63
                        }
                      ],
                      "statusCode": 200,
                      "statusDescription": "OK",
                      "traceId": "9234f645c210407c9f2217e1320b7b6c|CH10050619|1.0.0.0|CH10150318, CH10101326"
                    }
                  }
                ]
              }
            }
          ]
        }
      ]
    }
  ]
}
```

Fonte: Própria autoria (2016).

Os dados armazenados, coletados pelo sistema desenvolvido, são comparados e analisados com detalhes na próxima seção.

4.2 AVALIAÇÃO DOS DADOS

Nesta seção será demonstrada uma avaliação realizada com o objetivo de analisar a confiabilidade e precisão dos serviços de mapas na Web que forneçam informações do trânsito, como velocidade e tempo de viagem dos veículos. Esses dados foram avaliados utilizando técnicas de estatística descritiva e inferencial.

4.2.1 Estatística Descritiva

A estatística descritiva é um ramo da estatística que aplica diversas técnicas para descrever e sumarizar um determinado conjunto de dados. Podemos definir que em geral, ela é a etapa inicial da análise utilizada para resumir os dados fazendo o uso de ferramentas, como gráficos e indicadores numéricos, aplicados sobre a amostra. Esse trabalho utiliza a estatística descritiva para inferir algumas observações em cima dos resultados dos estudos de casos aplicados (REIS *et al.* 2012).

A Figura 27 demonstra, através de uma *query* executada num banco de dados, uma parte das informações das Velocidades Médias, coletadas dos Semáforos Inteligentes e da API *Routes* do *Bing Maps*, agrupadas a cada cinco minutos. É possível ver também a diferença entre essas médias de velocidades. Esses dados foram utilizados para a avaliação da qualidade dos dados do *Bing Maps*, tendo como dados considerados “reais” os informados pelos Semáforos Inteligentes.

Figura 27- Dados coletados e agrupados a cada cinco minutos

SQLQuery1.sql - PC-....euclides (sa (52))

```
select AVG(convert(FLOAT,Media_Bing)) [Velocidade Média - Bing ], AVG(convert(FLOAT,Media_sinaleira))
[Velocidade Média - Sinaleira], AVG(convert(FLOAT,COMP_MODULARIZADO)) as [Diferença entre os equipamentos],
HORA ,MINUTO AS MINUTO from UNIAO_DOS_TABELAS_FINAL_TRECHO_86_PICO where sinaleira_dia = 1 and hora > 13
group by MINUTO,HORA order by HORA,MINUTO
```

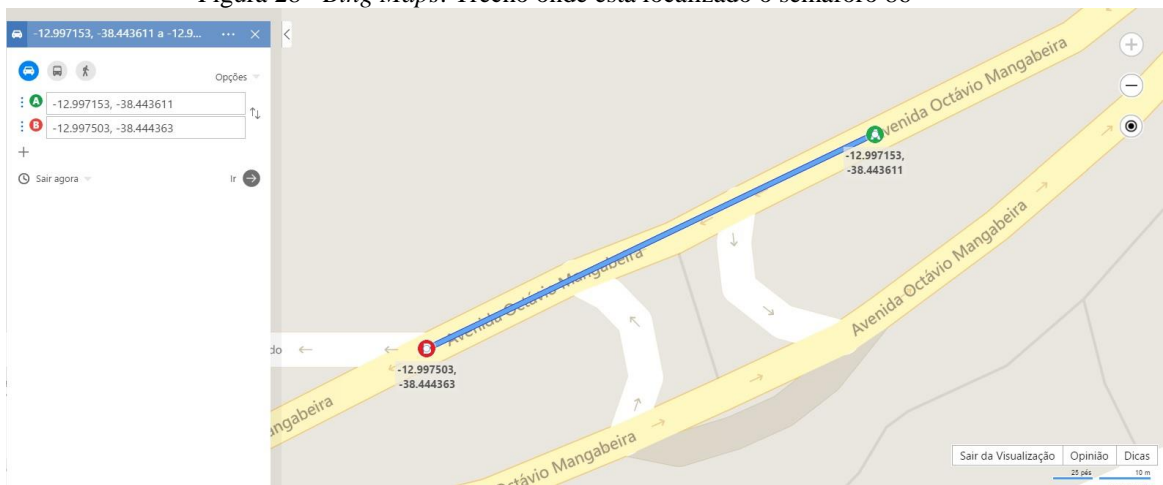
	Velocidade Média - Bing	Velocidade Média - Sinaleira	Diferença entre os equipamentos	HORA	MINUTO
1	38	46	8	14	0
2	36	35	1	14	15
3	45	41	4	14	20
4	45	44	1	14	25
5	45	43	2	14	30
6	34	43	9	14	35
7	43	44	1	14	40
8	45	44	1	14	45
9	45	45	0	14	50
10	45	45	0	14	55
11	45	45	0	15	0
12	45	43	2	15	5
13	38	45	7	15	10
14	34	43	9	15	15
15	34	43	9	15	20
16	41	48	7	15	25
17	45	43	2	15	30
18	45	43	2	15	35
19	34	44	10	15	40
20	43	45	2	15	45
21	45	46	1	15	50

Consulta executada com êxito. | PC-ALAN (11.0 RTM) | sa (52) | euclides | 00:00:00 | 106 linhas

Fonte: Própria autoria (2016).

A Figura 28 mostra através do ponto A (início) e o ponto B (fim) o trajeto de um trecho requisitado via API *Routes* do *Bing Maps*. No meio desse trecho está um dos três semáforos que foram utilizados para execução dos estudos de casos.

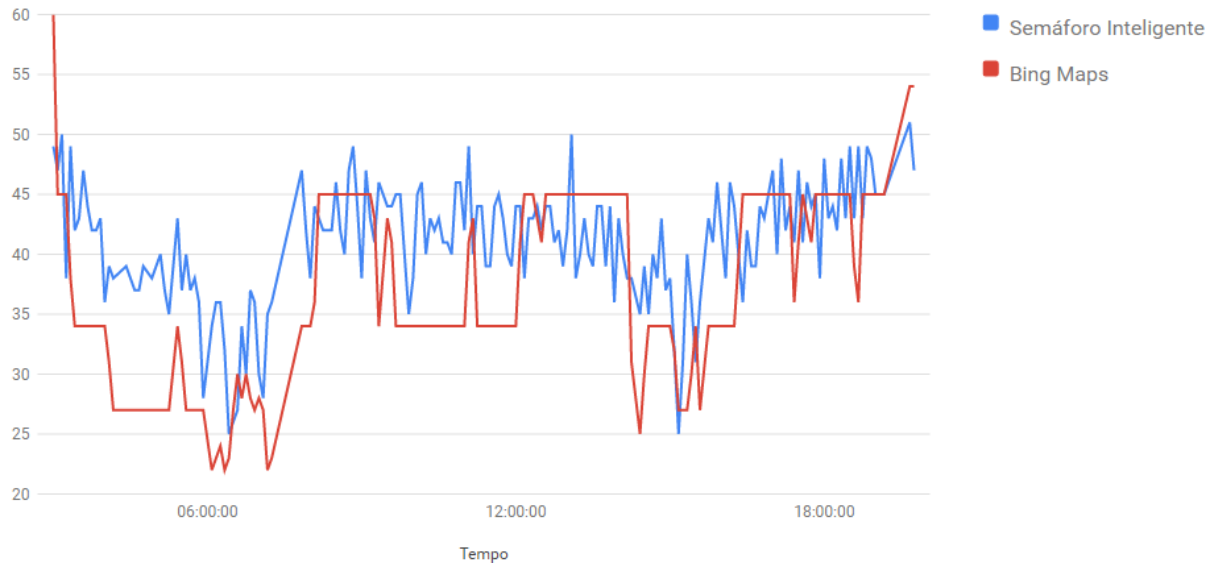
Figura 28 - *Bing Maps*: Trecho onde está localizado o semáforo 86



Fonte: BING (2015).

Os dados foram estruturados e demonstrados através de gráficos, pelos campos, Média da Velocidade dos semáforos (Semáforo Inteligente) e Média da Velocidade coletada através do Bing (*Bing Maps*). Os valores das duas velocidades foram agrupados, para serem comparados, a cada cinco minutos.

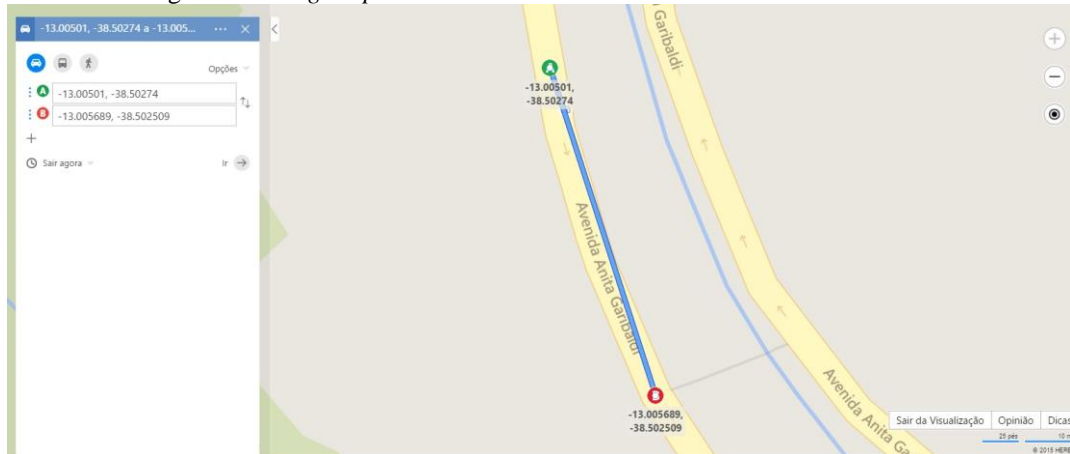
Figura 29 - Gráfico de linhas demonstrando a comparação dos dados do tráfego fornecidos pelo *Bing Maps* e pelo Semáforo 86



Fonte: Própria autoria (2016).

A Figura 29 mostra os dados das Velocidades Médias, do *Bing Maps* e do Semáforo Inteligente do código 086, em um dos dias do estudo. É possível observar que a velocidade informada pelo *Bing Maps* sempre está bem próxima da velocidade informada do Semáforo Inteligente, acompanhando sempre a sua variação nos horários entre 06:00 – 22:00. Os dados que incluem o restante dos horários, das 22:00 as 06:00, serão discutidos com mais detalhes no fim dessa seção.

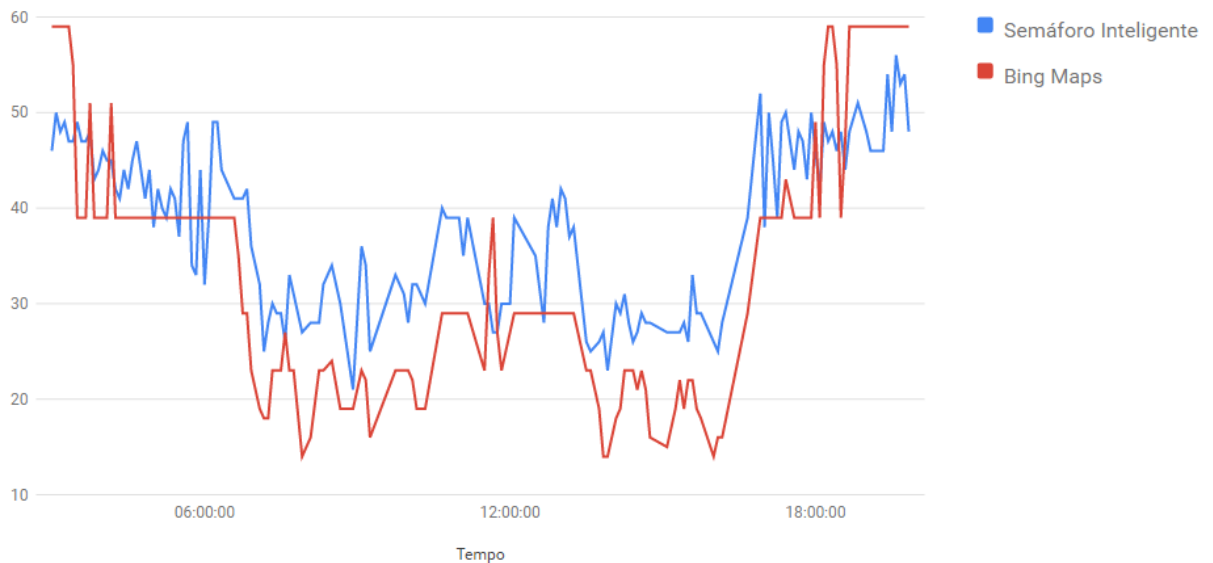
Figura 30 - Bing Maps: Trecho onde está localizado o Semáforo 106



Fonte: BING (2015).

A Figura 30 corresponde ao trecho onde está localizado o segundo equipamento, do código 106, utilizado por esta pesquisa para a realização dos estudos de caso.

Figura 31 - Gráfico de linhas demonstrando a comparação dos dados do tráfego fornecidos pelo Bing Maps e pelo Semáforo 106

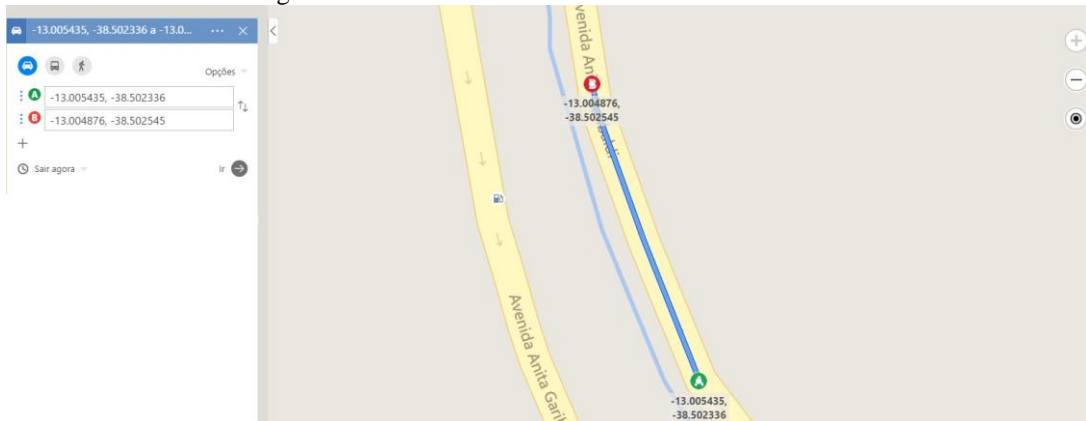


Fonte: Própria autoria (2016).

É possível perceber, na Figura 31, que a informação das Velocidades Médias dos veículos para esse trecho não atinge uma diferença grande. A maior diferença registrada por nesse trecho, neste dia, foi no horário das 17 horas. Porém essa diferença se manteve entorno de 12 Km/h.

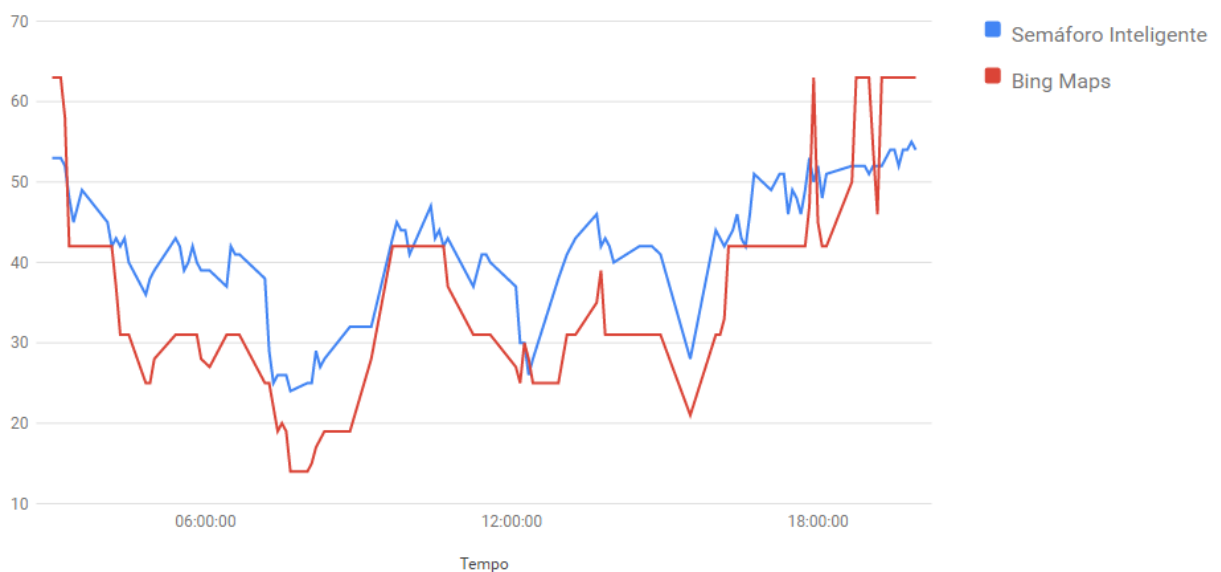
Em outro trecho, em que está o equipamento do código 107 (Figura 32), novamente a diferença das velocidades informadas não foram altas. Como apresentado, através do gráfico da Figura 33, a diferença não ultrapassa a 11 km/h.

Figura 32 - Trecho onde está localizado o Semáforo 107



Fonte: BING (2015).

Figura 33 - Gráfico de linhas demonstrando a comparação dos dados do tráfego fornecidos pelo *Bing Maps* e pelo Semáforo 107



Fonte: Própria autoria (2016).

Na pesquisa foi observado, que os dados do tráfego fornecidos pela API *Routes do Bing Maps* mostram um comportamento padrão do trânsito quando se despreza o horário de pico. A velocidade do *Bing Maps* normalmente se comporta de forma constante, não variando a sua velocidade em praticamente nenhum momento, mesmo com a ocorrência da variação da velocidade informada pelo Semáforo Inteligente, como demonstrado na Figura 34.

Figura 34 - Gráficos que mostram o comportamento do trânsito quando se despreza as informações do tráfego no horário de pico



Fonte: Própria autoria (2016).

Porém, a variação da velocidade, quando se exclui o horário de pico, também não é muito grande. Apesar da velocidade não variar, é possível perceber na Figura 34 que a maior diferença registrada neste trecho é de 10 km/h.

Quando os dados da madrugada são excluídos, é possível observar que a velocidade do *Bing Maps* acompanha, de forma bem próxima, a variação da velocidade informada pelo Semáforo Inteligente. Observando a Figura 35 é possível ver que, em quase todos os casos, os valores dos gráficos sempre aumentam e diminuem de forma conjunta, atingindo o pico da velocidade no início da manhã e no fim do dia.

Figura 35 - Gráficos que mostram o comportamento do trânsito, durante o horário de pico, de um dos trechos do estudo de caso



Fonte: Própria autoria (2016).

A estatística descritiva é muito utilizada para analisar uma determinada situação com base em uma amostra de dados. Porém essa análise pode não recorrer somente apenas a estatística descritiva. Frequentemente, deseja-se ir para além da descrição e interpretação dos dados. Para isso a estatística inferencial pode ser utilizada.

4.2.2 Estatística Inferencial

A inferência estatística é um ramo da Estatística em que o objetivo é realizar afirmações a partir de uma amostra. Essas afirmações devem sempre vir acompanhadas de uma medida de precisão sobre sua veracidade. O fundamento principal das técnicas de estatística inferencial está no cálculo de probabilidades. Esta pesquisa utilizou o método estatístico T-Student (Test T) para poder descobrir o valor da variação da diferença das Velocidades Médias fornecidas pelo *Bing Maps* e pelos Semáforos Inteligente. O teste T-Student é um teste de hipótese, introduzido por William Sealy Gosset, que usa conceitos estatísticos para rejeitar ou não uma hipótese quando a estatística de teste segue uma distribuição normal. Essa premissa é habitualmente utilizada quando a variância da população

é desconhecida. Pestana e Gageiro (2003) afirmam que o teste de normalidade é dispensado caso a amostra tenha mais de 30 indivíduos.

Uma variação do Test T é o teste de hipótese para uma amostra. Esse teste averigua se a média da amostra é diferente de um valor de referência ou da média da população. Para a realização desse teste os valores das Velocidades Médias foram agrupados a cada cinco minutos. O objetivo é descobrir em quanto diverge a informação da Velocidade informada pelo *Bing Maps* em comparação com a Velocidade obtida através dos Semáforos Inteligentes. Para agilizar a aplicação do teste foi utilizado a versão *trial* da ferramenta estatística IBM *SPSS Statistics*.

Os testes foram divididos em Geral e Horário de Pico. O teste Geral é aplicado com base em todas as medições do dia, sem restringir nenhum tipo de horário. O teste do Horário de Pico engloba os horários das 06:00 as 22:00. Esse teste foi assim dividido para poder perceber se há alguma relação entre a qualidade da informação fornecida pelo *Bing Maps* com a quantidade de carros em circulação, sabendo que normalmente durante a madrugada, a quantidade de carros em circulação é bastante reduzida.

Uma das variáveis necessárias para aplicar o Teste T, utilizando a ferramenta IBM *SPSS Statistics*, é o nível de confiança. O nível de confiança (α) é o intervalo estimado em que a média de um parâmetro de uma amostra tem uma probabilidade de ocorrer, normalmente definida como 95%, sendo que esse valor foi justamente o valor usado nos estudos de casos aplicados para este trabalho. O valor da variável Sig (Significância) também deverá ser analisado para identificar o resultado dos testes.

Figura 36 - Teste geral utilizando o equipamento 086

	Valor de Teste = 10					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferença média	95% Intervalo de Confiança da Diferença	
					Inferior	Superior
VAR00001	-1,498	2572	,135	-,212	-,49	,07

Fonte: Própria autoria (2016).

A Figura 36 mostra a aplicação do Test T (Geral) no trecho onde está localizado o semáforo do código 86. O fundamento do teste estatístico de hipóteses é levantar hipóteses acerca de um valor padrão da amostra ainda não conhecido. Para esse teste, demonstrado na Figura 36, a hipótese é que o valor da diferença média entre os dados é de 10 km/h. Para avaliar o resultado compara-se diretamente o valor da variável Sig com o valor de α . Como o

valor de Sig é igual à 0.135, sendo maior que o valor de α (0.05), não há evidência estatística para rejeitar a hipótese que a diferença da velocidade média, informada pelo semáforo e pela API do *Bing Maps*, é de 10 km/h. Os testes foram realizados com o objetivo de achar o valor mínimo, aceito pelo teste de hipótese, da diferença média das velocidades em cada trecho. Foram testados outros valores, porém o menor valor aceito, para esse equipamento foi o valor de 10 km/h.

Os valores do Teste T (Geral) aceitos para todos os equipamentos são informados na tabela abaixo.

Tabela 1 - Resultado do estudo de caso para o Teste T (Geral)

Código do semáforo	Velocidade em km/h
86	10
106	8
107	9

Quando o teste foi realizado, utilizando somente dados coletados no horário de pico, os valores aceitos como diferença entre as velocidades médias foram:

Tabela 2 - Resultado do estudo de caso para o Teste T (Horário de Pico)

Código do semáforo	Velocidade em km/h
86	7
106	9
107	9

4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo realizou uma avaliação dos dados de um serviço de tráfego disponível na Web. Estes dados foram comparados com dados de Semáforos Inteligentes.

A primeira evidência encontrada neste estudo foi que no horário de 06:00hs às 22:00hs os dados obtidos do serviço de tráfego da Microsoft se aproximam mais dos dados informados pelos Semáforos Inteligentes do que os dados no horário das 22:00hs às 06:00hs.

Considerando o período 06:00hs às 22:00hs e uma resolução temporal de 5 minutos, as velocidades informadas pelos serviços de tráfego analisado acompanham as variações da velocidade dos veículos que circulam na via medidas pelos semáforos inteligentes e não

divergem, em sua maioria, em mais do que 9 km/h. Esta informação é importante para as aplicações de transporte, pois mostram que a latência dos serviços Web, isto é, o tempo de resposta para atualizar a velocidade média da via, não ultrapassa os 5 minutos, e dão a exata dimensão da acurácia da velocidade fornecida pelos serviços Web.

No período das 22:00hs às 06:00hs, os dados fornecidos pelos serviços de tráfego na Web mostraram quase nenhuma variação da velocidade média da via. Porém a diferença entre as velocidades ainda não é grande. Neste horário ocorre uma redução significativa do número de veículos na via. Desta forma, a fonte de dados dos serviços Web é pequena e os poucos veículos que transitam o fazem com a velocidade próxima a velocidade média da via. Uma possível explicação para isto é que mesmo quando a via está sem trânsito intenso, os motoristas ainda devem seguir a regra do limite máximo de velocidade estipulado para aquela via. Como o Semáforo Inteligente é um dos equipamentos utilizados para fiscalizar essas infrações, os motoristas tendem a manter sempre a velocidade do veículo próxima da velocidade máxima estipulada para essa via. Outra possível explicação é que o Bing utilize um número mínimo de veículos para detectar a velocidade da via. Se o número de veículos for menor que o necessário, o Bing informa a velocidade padrão sem trânsito. Desta forma, os dados dos serviços Web devem ser utilizados com cautela no período quando ocorre uma redução do número de veículos na via.

Acreditamos que a comparação dos dados fornecidos pelos serviços de mapas na Web fornece evidências estatísticas que permitem utilizar esta informação em aplicações técnicas na área de Sistemas Inteligentes de Transportes. No próximo capítulo será demonstrado o funcionamento da ferramenta desenvolvida para o monitoramento do trânsito, utilizando os dados de tráfego coletados através do *Bing Maps*. Além disso, serão utilizadas métricas de trânsito, destacadas na literatura e nos trabalhos correlatos, para demonstrar o comportamento do trânsito quando ocorrem congestionamentos não recorrentes.

5 ARQUITETURA E APRESENTAÇÃO DA FERRAMENTA EUCLIDES

Existem diversos critérios para avaliar a qualidade do trânsito nas vias de uma cidade. Alguns desses critérios são objetivos e bem definidos, outros são subjetivos e medidos com escalas qualitativas que dependem do nível de exigência dos usuários dos sistemas de transporte em diferentes culturas e que vivenciam problemas de mobilidade urbana distintos. Mesmo quando são utilizados os mesmos critérios em culturas próximas é difícil alcançar valores de consenso. O Japão e a Coreia do Sul, por exemplo, utilizam a Velocidade Média do tráfego para identificar congestionamentos nas vias. No Japão, considera-se que há congestionamento se a velocidade de deslocamento na rodovia for inferior a 40 km/h por mais de 15 minutos. Já na Coreia do Sul, os pontos de congestionamento são definidos em trechos onde a velocidade média da via fica abaixo de 30 km/h por mais de duas horas (RAO *et al.* 2012).

A revisão sistemática realizada por RAO *et al.* (2012) mostra que comparando as estratégias utilizadas nos Estados Unidos, Coreia do Sul, Japão e Índia, existe certo grau de convergência nas métricas utilizadas para medição de congestionamento, mas evidencia uma total falta de consenso na avaliação e utilização dos valores associados a estas métricas. Outra informação relevante derivada da revisão sistemática é que nesses países as métricas mais utilizadas são: a) a velocidade média dos veículos, b) o tempo médio de viagem, c) o atraso veicular médio, d) o volume de trânsito e o e) nível de serviço.

Nem todos os dados necessários para o cálculo das diversas métricas utilizadas nos estudos e gerenciamento do trânsito podem ser obtidos dos serviços gratuitos de trânsito fornecidos por mapas na Web. Estes serviços fornecem para cada segmento da rede viária o tempo de viagem médio sem trânsito, o tempo de viagem médio instantâneo dos veículos no segmento e o comprimento do segmento. Apesar desta limitação, ainda pode-se computar as métricas mais utilizadas pela literatura. Essas métricas foram aplicadas em uma ferramenta desenvolvida neste trabalho, chamada Euclides.

Este capítulo apresenta a implementação da ferramenta para o monitoramento de eventos não recorrentes baseada em soluções abertas livres e gratuitas. A próxima seção apresenta detalhes da arquitetura e das principais tecnologias utilizadas no desenvolvimento dessa ferramenta. Na seção seguinte são apresentados alguns estudos de caso de uso aplicados nessa ferramenta.

5.1 ARQUITETURA DA APLICAÇÃO

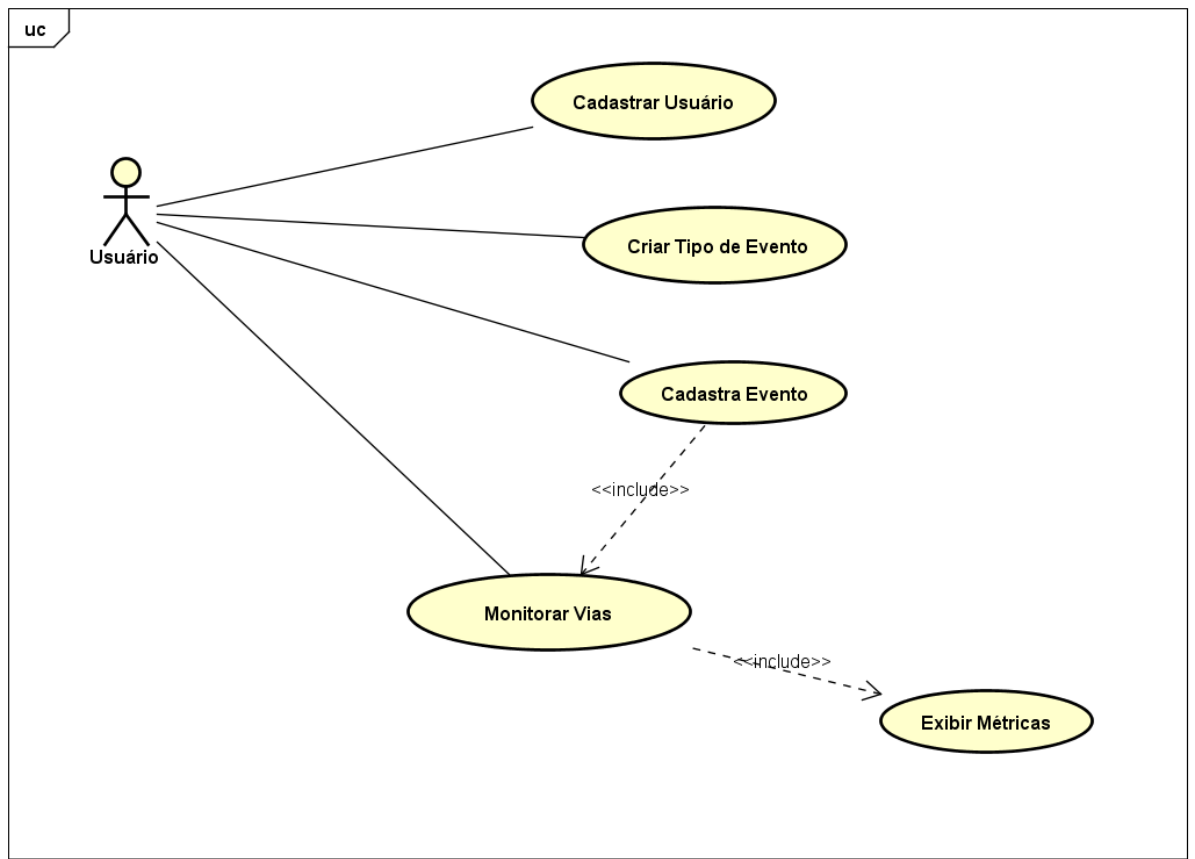
A ferramenta Euclides (nome dado em homenagem ao avô do autor dessa dissertação) foi desenvolvida na linguagem de programação C# em .NET para Web, utilizando principalmente componentes Javascript (Figura 37). O principal objetivo da ferramenta Euclides é aplicar a metodologia proposta, gerenciando o monitoramento de trânsito realizado pelos diferentes usuários cadastrados no sistema. A IDE utilizada foi o Visual Studio 2012, aceitando a versão do .NET a partir da 2.0.



Fonte: Própria autoria (2016).

O diagrama de caso de uso da ferramenta Euclides foi desenhado para auxiliar na extração dos requisitos do software. A Figura 38 ilustra o caso de uso desenhado.

Figura 38 - Diagrama de Caso de Uso das principais funcionalidades da ferramenta Euclides



powered by Astah

Fonte: Própria autoria (2016).

De acordo com este caso de uso, um determinado usuário pode se cadastrar na ferramenta Euclides e dar início também ao cadastro do evento. O sistema deverá realizar o monitoramento das vias que estiverem na área de influência. Após esse monitoramento o usuário deverá ver o resultado, podendo assim analisar o impacto de um evento nas vias monitoradas, através da exibição das principais métricas de avaliação do fluxo de tráfego. O usuário também pode cadastrar um novo tipo do evento.

Os principais requisitos da ferramenta Euclides são descritos a seguir:

Requisitos Funcionais (RQF):

- a) RQF1 – A ferramenta deve permitir que um usuário se cadastre no sistema;
- b) RQF2 – A ferramenta deve permitir que um usuário cadastre e gereencie diferentes tipos de eventos;
- c) RQF3 – A ferramenta deve permitir que um usuário cadastre um novo evento a ser monitorado;

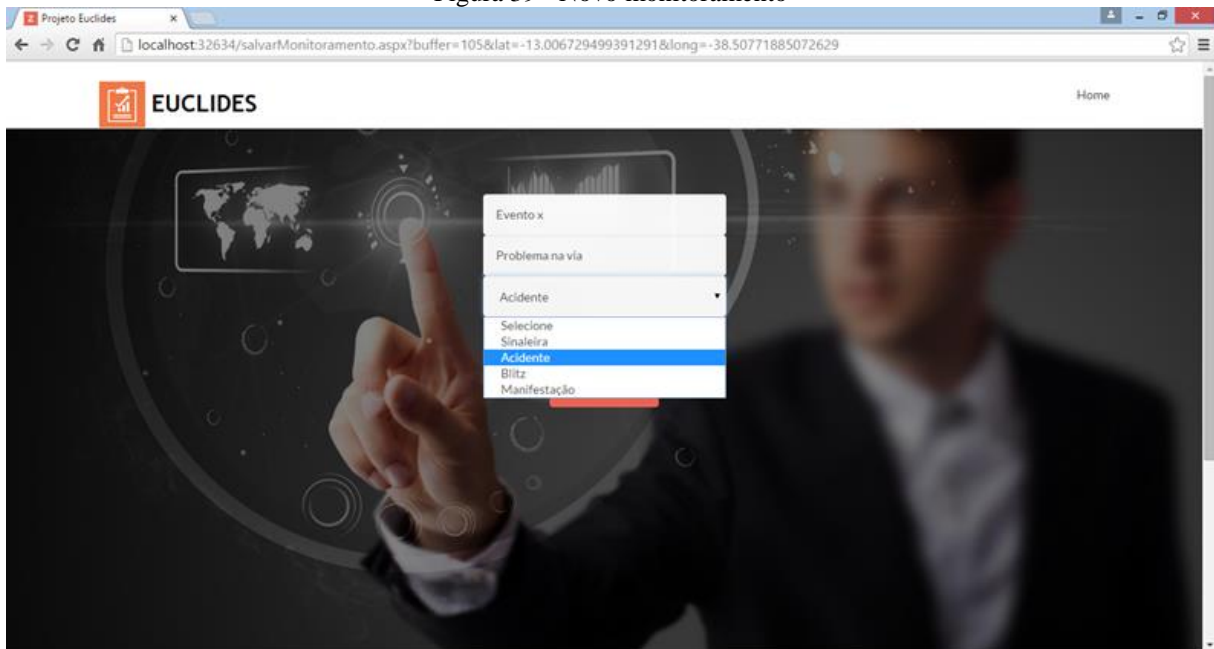
- d) RQF4 – A ferramenta deve permitir que um usuário salve as configurações de monitoramento para um determinado evento;
- e) RQF5 – A ferramenta deve permitir que um usuário utilize as configurações de um monitoramento salvo para monitorar novamente os mesmos locais do evento;
- f) RQF6 – A ferramenta deve realizar consultas a um serviço de mapa da internet, capturando informações do trânsito em tempo real;
- g) RQF7 – A ferramenta deve utilizar a informações da rede viária para identificação dos trechos que serão monitorados;
- h) RQF8 – A ferramenta deve permitir que um usuário visualize as informações do evento através de gráficos e ferramentas espaciais.

Requisitos Não Funcionais (RNF):

- a) RNF1 – A ferramenta deve ser Web;
- b) RNF2 – A ferramenta deve funcionar nos principais browsers disponíveis no mercado (Google Chrome, Firefox Safari e Internet Explorer).

Foram previamente cadastrados alguns tipos padrão de evento, com o intuito de facilitar o agrupamento e a localização dos eventos pelos usuários. Estes mesmos usuários ainda podem gerenciar os tipos de eventos, desde que tenham permissões especiais. Os tipos de eventos cadastrados foram: a) Semáforo intermitente, b) Blitz, c) Acidente de trânsito, d) Manifestação/Passeata. A Figura 39 mostra a tela de cadastro de eventos da ferramenta Euclides.

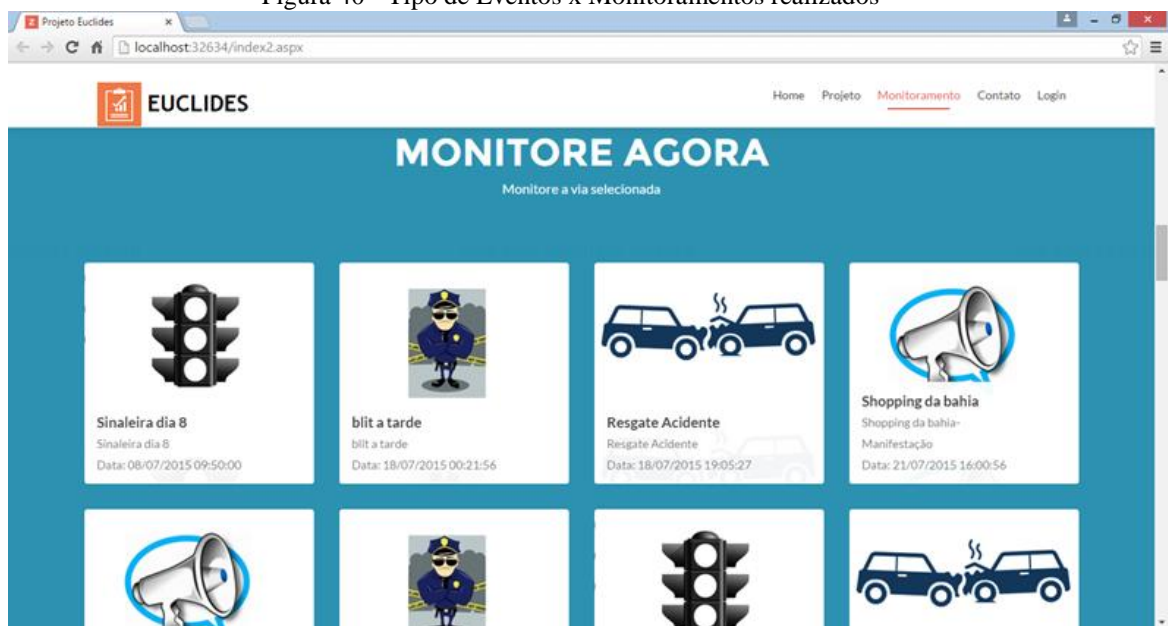
Figura 39 - Novo monitoramento



Fonte: Própria autoria (2016).

A Figura 40 demonstra alguns monitoramentos realizados pela ferramenta Euclides. Nesta tela, são exibidas as informações da data, hora, título e a descrição de cada um desses eventos.

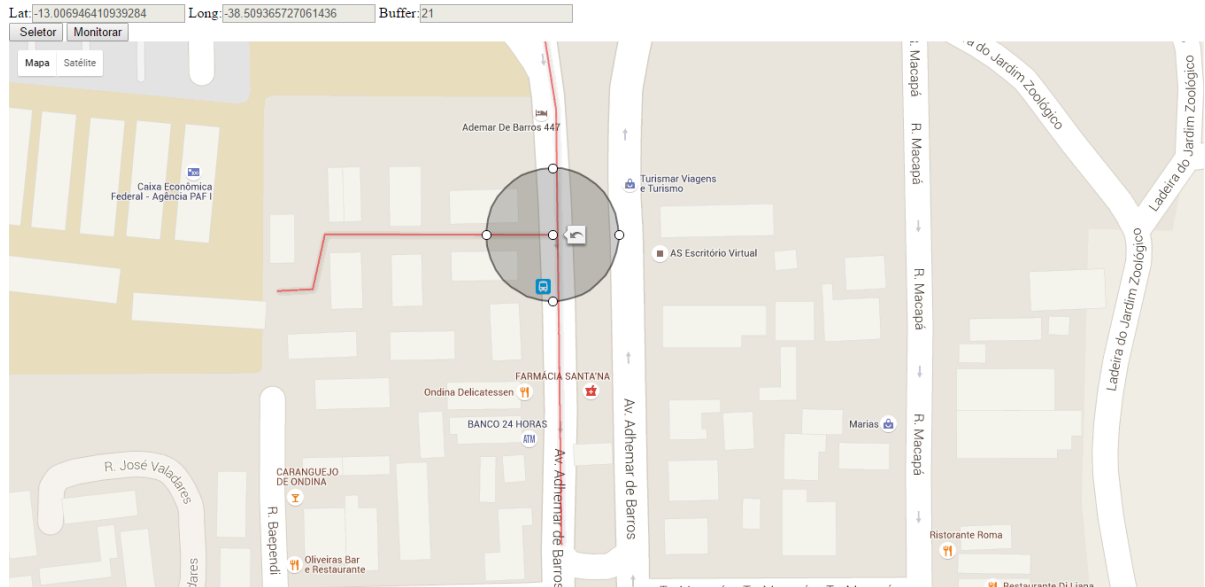
Figura 40 - Tipo de Eventos x Monitoramentos realizados



Fonte: Própria autoria (2016).

Para indicar o local do evento, o usuário pode utilizar a ferramenta *buffer*, disponibilizada pela ferramenta, em que o seu centro será a coordenada do evento e sua circunferência será a delimitação da área de influência. (Figura 41)

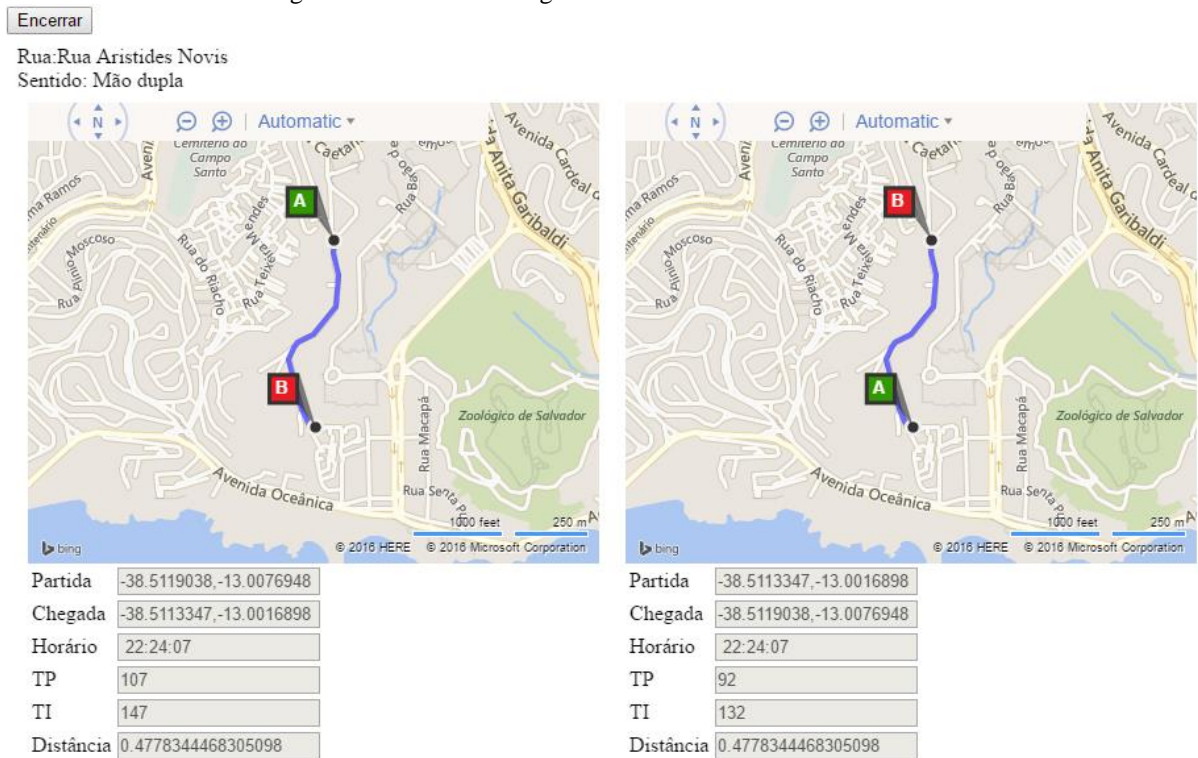
Figura 41 - Localizando o evento



Fonte: Própria autoria (2016).

Após a identificação da coordenada do evento, a ferramenta Euclides aplica o algoritmo de extração dos dados do tráfego, em tempo real, das vias que estão dentro da área de influência. A ferramenta detecta os pontos de início e fim da aresta do OSM, posicionando-os no mapa do *Bing Maps*, coletando o tempo de viagem padrão (TP) e o tempo de viagem instantâneo (TI) (Figura 42).

Figura 42 - Dados do Bing x Finalizando o monitoramento

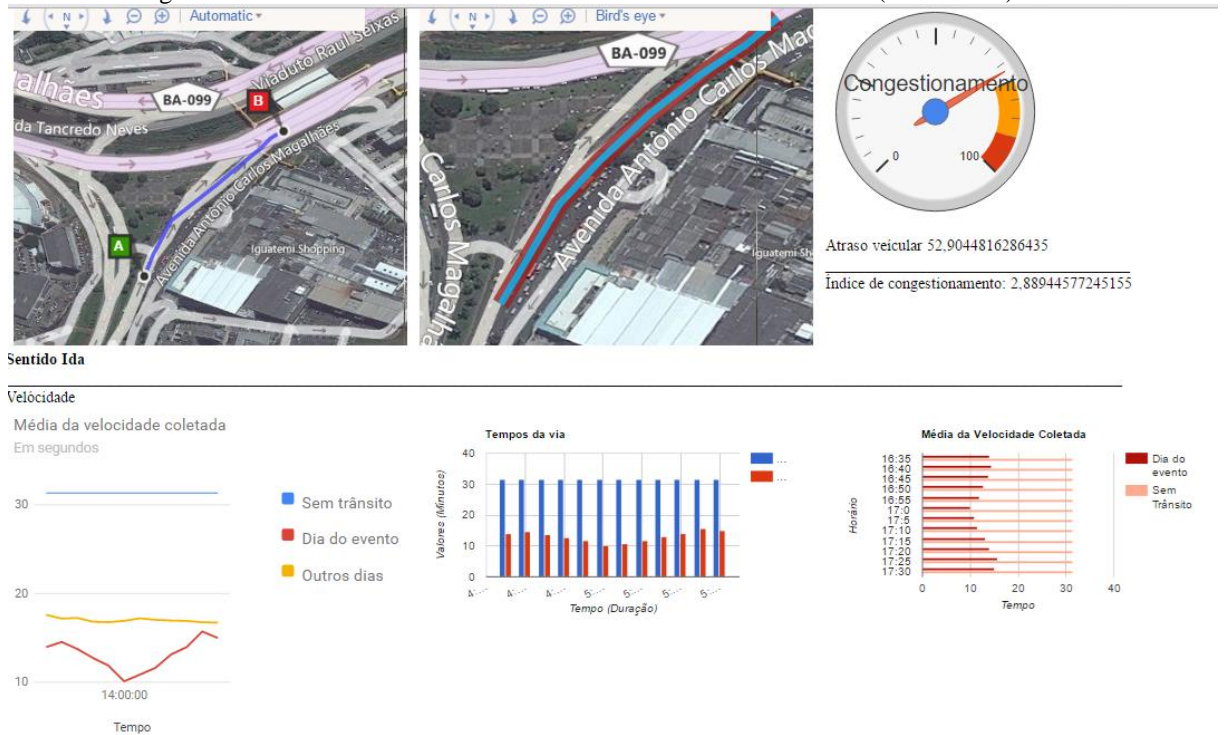


Fonte: Própria autoria (2016).

O TP, informado pelo *Bing Maps*, é o tempo de deslocamento médio em segundos dos veículos quando a via não está congestionada. O TI é o tempo de deslocamento médio dos veículos em um exato momento.

Quando o usuário clicar no botão “Encerrar” (Figura 42), o sistema irá ser redirecionado para um caso de uso que apresentará uma tela com as métricas de trânsito, indicadas pela literatura, através de diversos componentes visuais implementados. (Figura 43)

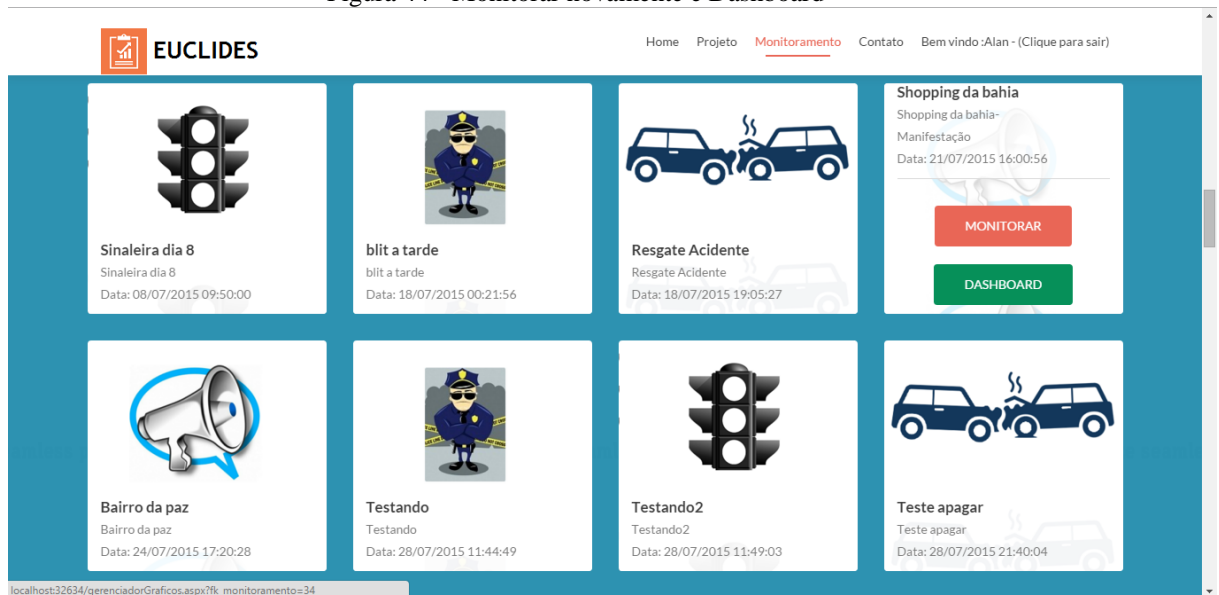
Figura 43 - Tela com as métricas de trânsito utilizadas na ferramenta (DashBoard)



Fonte: Própria autoria (2016).

O usuário pode repetir o processo de monitoramento de um determinado evento em vários momentos. Isso é importante para a aquisição de dados, que irá servir para realizar a análise comparativa disponibilizada pelo sistema, representado através da métrica. Outros dias (média da velocidade coletada nos dias que não ocorreu o evento). Para isso basta procurar os eventos na lista e selecionar novamente a opção “Monitorar”. O usuário ainda pode ver os dados do monitoramento acessando a opção “Dashboard”. (Figura 44)

Figura 44 - Monitorar novamente e Dashboard

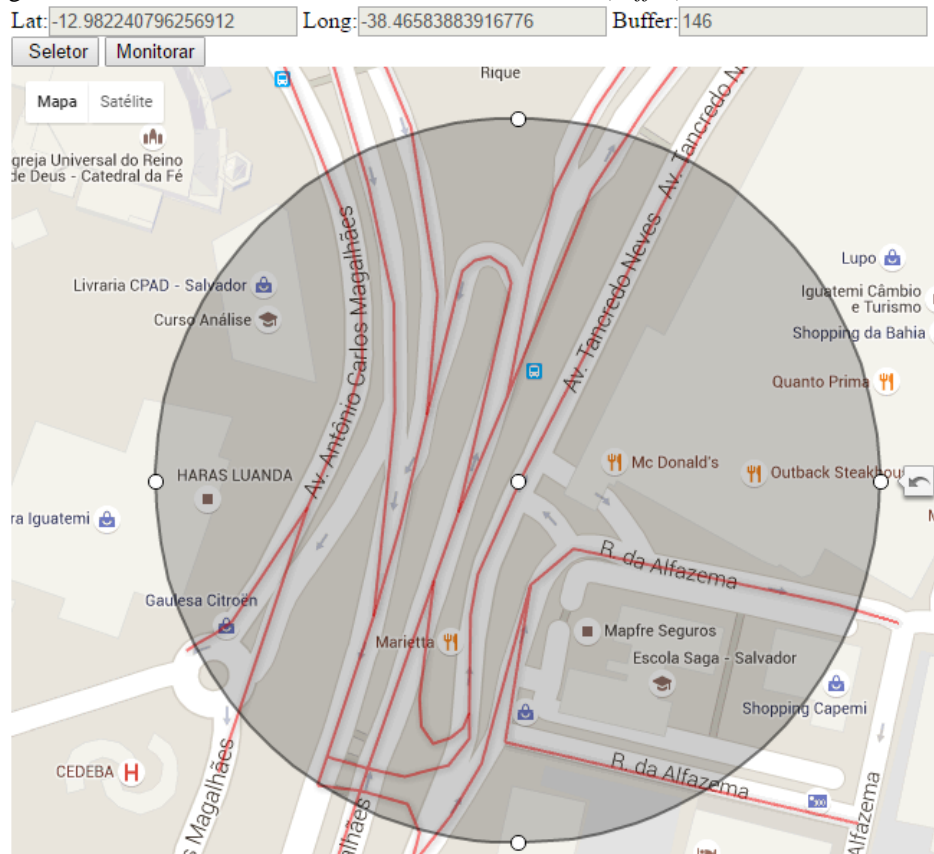


Fonte: Própria autoria (2016).

Na próxima seção será demonstrado o funcionamento da ferramenta Euclides aplicado em casos de usos reais realizados na cidade de Salvador.

5.2 ESTUDO DE CASO

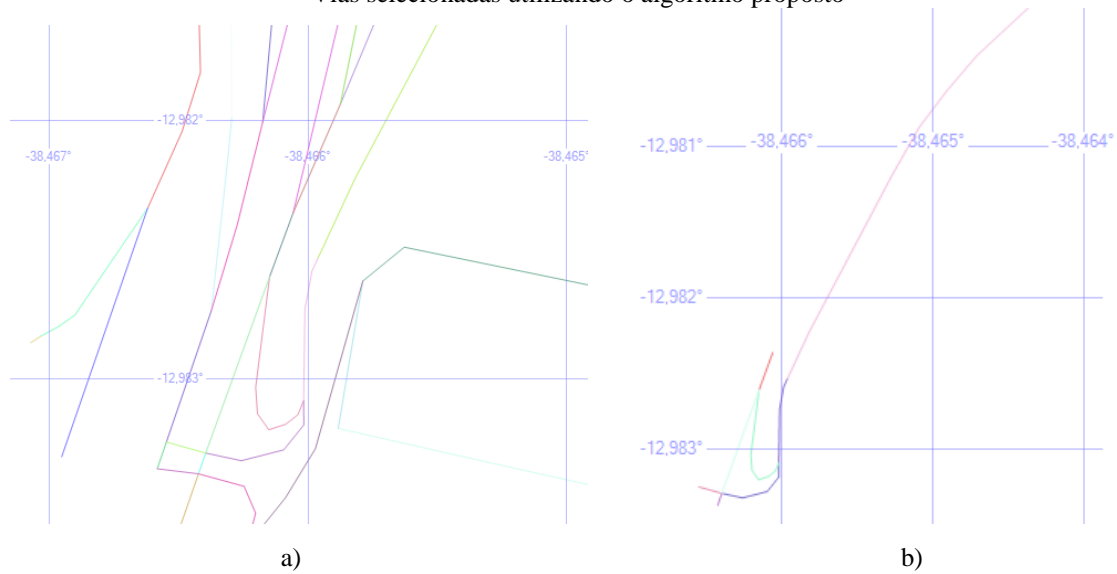
A título de prova de conceito foram realizados quatro monitoramentos na cidade de Salvador (BA). Logo abaixo será demonstrado, somente, com maiores detalhes o impacto de uma passeata realizada nas imediações do Shopping da Bahia no dia 21/07/2015, uma terça-feira. O local exato do início da passeata (centro do círculo) e o tamanho da área de influência estão indicados na Figura 45.

Figura 45 - Coordenadas e tamanho da área de influência (*buffer*) do evento monitorado

Fonte: Própria autoria (2016).

Com a aplicação do algoritmo pela ferramenta, a quantidade de vias que seriam monitoradas passou de um total de 30 para apenas 8. Com isso, a velocidade de processamento da ferramenta aumenta consideravelmente, além de diminuir muito a quantidade de requisições realizadas pela API *Routes* do *Bing Maps*, como pode ser visto através da Figura 46.

Figura 46 - Aplicação do algoritmo do evento monitorado. a) Vias selecionadas sem o algoritmo proposto. b) Vias selecionadas utilizando o algoritmo proposto



Fonte: Própria autoria (2016).

O monitoramento das vias ocorreu no período das 16:35hs às 17:35hs, com medições realizadas a cada dois minutos. Para efeito de comparação, o referido padrão de monitoramento foi repetido por outros sete dias, gerando dados de trânsito de todos os dias da semana sem a ocorrência de eventos similares.

Neste trabalho será discutido com maiores detalhes os dados da via principal do local onde ocorreu o evento. A Figura 47 ilustra o trecho da via no dia do evento, e a Figura 48 mostra como se comportou o trânsito no mesmo lugar uma semana depois. A metáfora de visualização proposta utiliza linhas com as cores vermelhas e azuis para representar a fluidez da via.

Quanto maior a espessura da linha azul, melhor é o fluxo do tráfego. O aumento da espessura das linhas vermelhas indica uma degradação no trânsito. Essa metáfora de visualização utiliza, para calcular a espessura das linhas, a velocidade média da via sem trânsito e a velocidade média da via com trânsito.

Figura 47 – Apresentação da metáfora de visualização proposta no dia da ocorrência do evento



Fonte: Própria autoria (2016).

É possível observar que, na Figura 47, as linhas vermelhas se sobressaem muito mais na via do que a linha azul. Na Figura 48 a linha azul está muito mais visível do que as linhas vermelhas. Ao compararmos essas duas figuras pode-se perceber que, utilizando a ideia da metáfora proposta, a degradação da velocidade média foi muito maior na Figura 47.

Figura 48- Apresentação da mesma informação uma semana após o evento

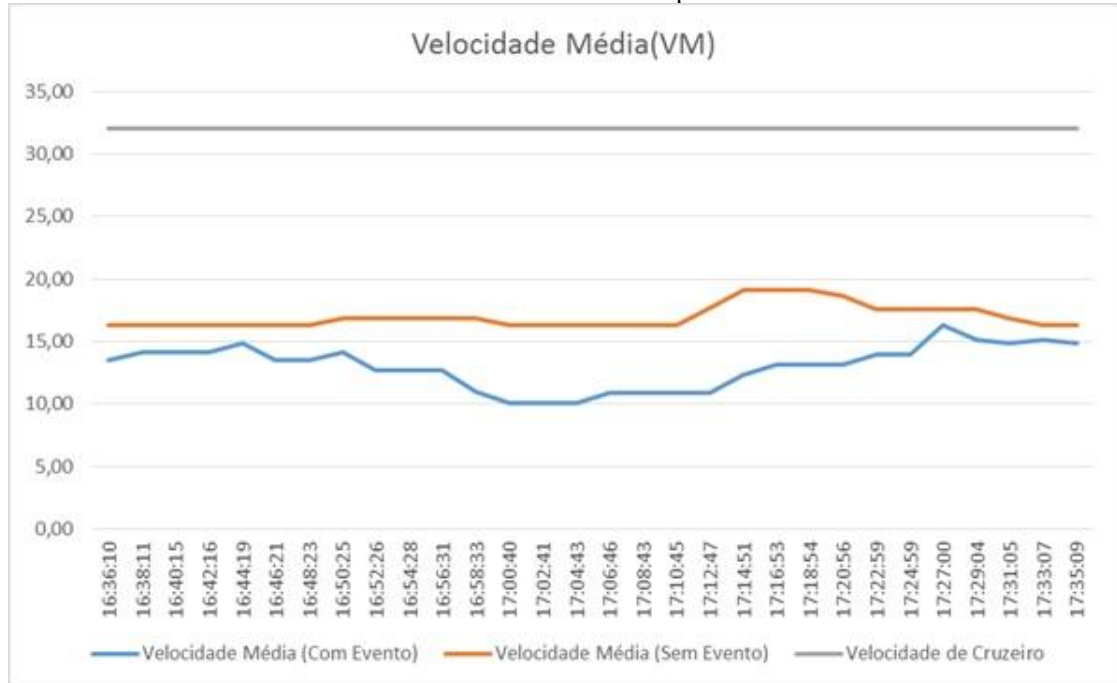


Fonte: Própria autoria (2016).

A apresentação de dados qualitativos do congestionamento em um mapa, embora tenha um grande apelo visual e um maior ganho cognitivo, não expressa a real grandeza do congestionamento e como ele se comportou ao longo do tempo. Para esta comunicação, decidimos apresentar os valores das métricas Velocidade Média (VM) e o Índice de Congestionamento (ICNG) durante todo o período observado. Iremos apresentar os dados do congestionamento do dia do evento e os dados de uma semana depois.

O gráfico da Figura 49 ilustra a Velocidade Média da via sem trânsito (representada por uma reta horizontal de 32km/h) e as Velocidades Médias do trecho medidas no dia do evento (linha azul) e no mesmo dia da semana posterior ao evento (linha laranja).

Figura 49 - Gráfico da velocidade da via sem trânsito, da velocidade média no dia do evento e da velocidade média medida uma semana depois

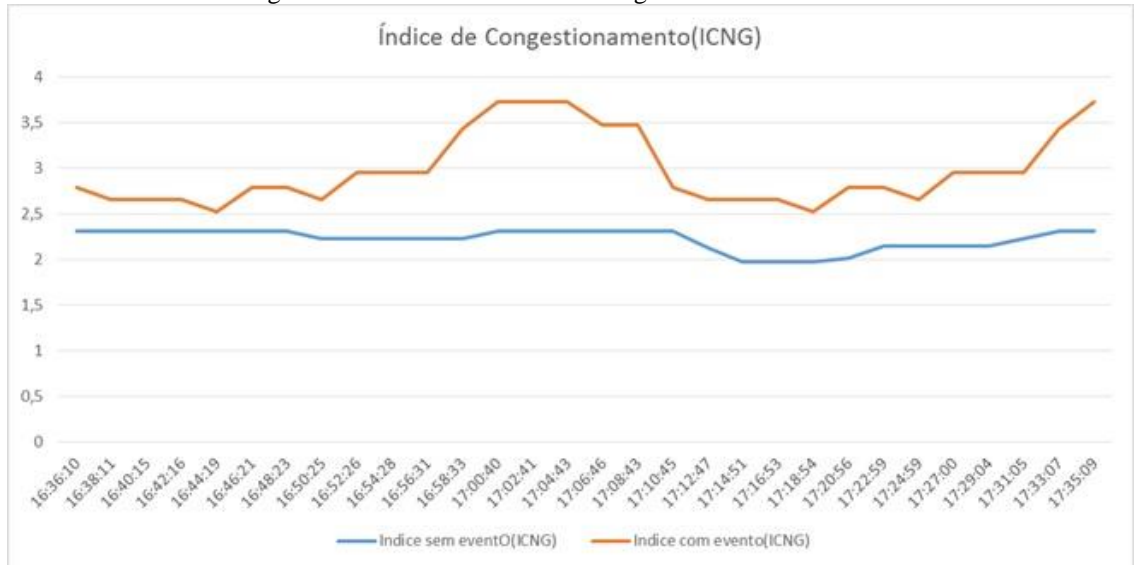


Fonte: Própria autoria (2016).

A análise da evolução da Velocidade Média (Figura 49) mostra que no dia do evento a Velocidade Média caiu quase à metade quando comparada com o mesmo dia da semana posterior (sem evento). Esta diferença é encontrada quando é comparada a menor e a maior velocidade observada nos referidos dias.

Outra métrica objetiva que pode ser calculada para efeito de análise é o Índice de Congestionamento (ICNG). Como o ICNG é inversamente proporcional à Velocidade Média do trecho, o gráfico da evolução do ICNG terá as curvas invertidas e a magnitude e semântica dos valores irá conferir uma forma aparente nova de analisar os dados (Figura 50).

Figura 50 - Gráfico do índice de congestionamento

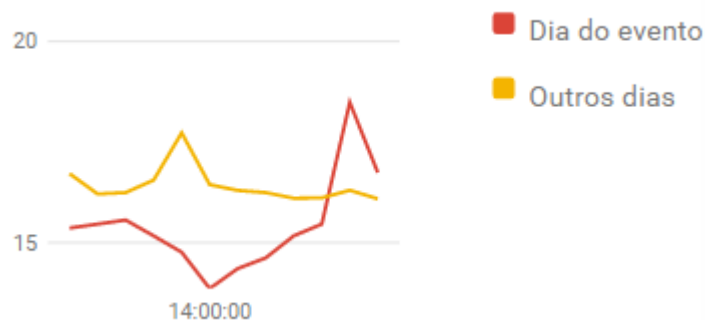


Fonte: Própria autoria (2016).

Analisando o gráfico do índice de congestionamento (Figura 50), nota-se que o trecho estudado possui sempre certo grau de congestionamento no período coletado. Este índice apresentou uma sensível alteração no dia do evento, atingindo valores que chegaram ao dobro do índice observado em dias sem eventos.

A Figura 51 demonstra um gráfico que representa a informação do desempenho do trânsito relacionados a uma das outras vias monitoradas por este evento. É possível ver que o valor da Velocidade Média dessa via sofreu influência direta do evento ao compararmos com a dos outros dias.

Figura 51- Gráfico da velocidade média de uma das vias monitoradas pela ferramenta para esse evento



Fonte: Própria autoria (2016).

Os outros eventos e o comportamento do trânsito foram resumidos na tabela abaixo, analisando somente a principal via (onde ocorreu o evento):

Tabela 3 - Eventos monitorados pela ferramenta Euclides

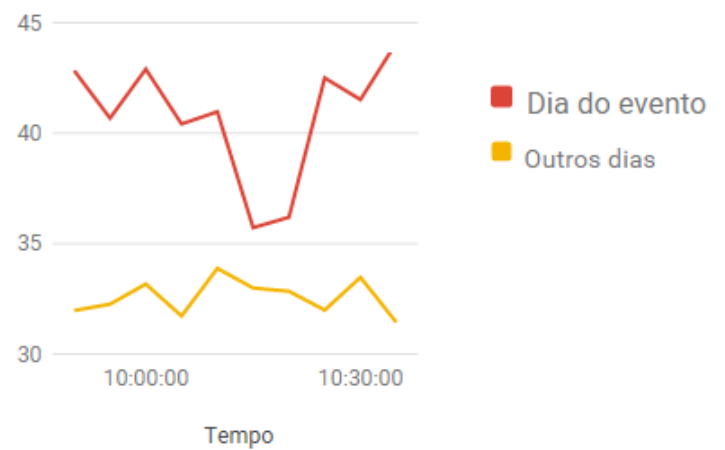
Evento	Índice de Congestionamento (dia do evento)	Atraso Veicular (dia do evento)	Gráfico da via principal (dia do evento e os demais dias)
--------	--	---------------------------------	---

Semáforo Intermitente

1,3

10,3

Média da velocidade coletada
Em segundos

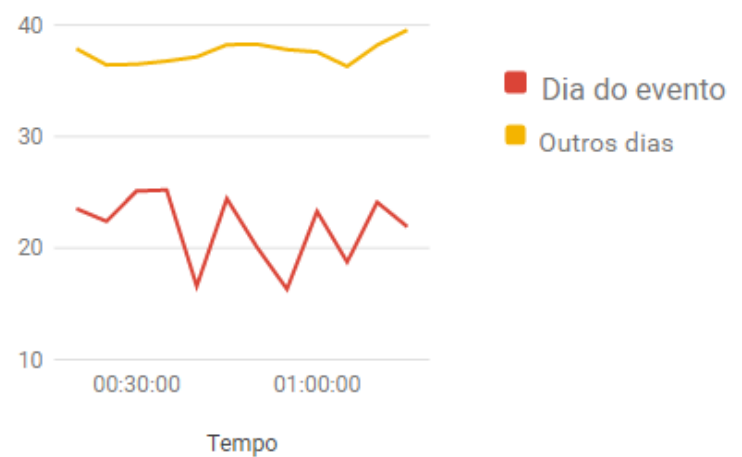


Blitz

2,2

11,3

Média da velocidade coletada
Em segundos



Evento	Índice de Congestionamento (dia do evento)	de Atraso Veicular (dia do evento)	Gráfico da via principal (dia do evento e os demais dias)
Acidente de trânsito	1,69	25,1	<p>Média da velocidade coletada Em segundos</p> <p>■ Dia do evento ■ Outros dias</p> <p>Tempo</p>

A partir das análises de todos os eventos é possível perceber que o comportamento da via, quando aconteceram esses eventos, foi atípico. No evento do semáforo intermitente, como este não obstruiu a passagem dos veículos, é possível ver que a velocidade média da via aumentou consideravelmente, assim como, que o atraso veicular foi muito baixo.

Os outros eventos tiveram o comportamento inverso devido à natureza do seu tipo. Quando a blitz foi monitorada, a velocidade média dos carros caiu de forma acentuada, causando congestionamento, assim como quando houve o acidente de trânsito.

Algumas das outras vias monitoradas também sofreram influência direta dos eventos. Quando isso ocorreu, o sistema detectou a variação da velocidade das vias afetadas, e mostrou também as que não foram afetadas pelo evento e estavam dentro da sua área de influência.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma solução para avaliar o impacto que um evento pode causar ao trânsito, utilizando dados dos serviços de tráfego na Internet. O conceito evento é abordado na forma do principal agente causador de congestionamentos não recorrentes. A solução proposta utiliza a base viária do projeto OSM e dados sobre o trânsito obtido da camada de tráfego de um serviço de mapa disponível na Web. O serviço de tráfego utilizado foi o *Bing Maps* da Microsoft através da API *Routes*.

No contexto da solução para coleta de dados, foi desenvolvido um algoritmo para o posicionamento automático de pontos de monitoramento de tráfego no sistema viário, disponibilizando como opção a seleção das vias mais próximas do evento. Nesses pontos de monitoramento são colocados “coletores” que irão obter junto a camada de tráfego do *Bing Maps* os dados dos trechos das vias a serem monitorados.

Para avaliação da qualidade dos dados fornecidos pelo *Bing Maps* foi realizada uma comparação das informações coletadas pela API *Routes*, juntamente com dados obtidos através de Semáforos Inteligentes disponibilizados pela Transalvador. O estudo foi realizado com dados de três semáforos inteligentes localizados em diferentes vias da cidade de Salvador (BA).

Um teste estatístico foi aplicado para identificar a diferença média entre as velocidades fornecidas por Semáforos Inteligentes e pelo *Bing Maps*. Para esse teste, os dados do *Bing Maps* foram coletados utilizando a estratégia de centralizar o semáforo inteligente no meio de um trecho com a distância de aproximadamente 30 metros. Como resultado do teste aplicado foram aceitos os valores entre 7km/h e 10 km/h.

Foi possível avaliar, ao utilizar os dados dos Semáforos Inteligentes, que o *Bing Maps* consegue refletir a variação da velocidade e fornecer, de forma confiável, a informação de quando a velocidade do trânsito reduz de maneira significativa. Essa ferramenta conseguiu identificar de forma clara quando o trânsito sai do seu comportamento padrão, refletindo a degradação das velocidades médias dos veículos que circulam nas vias, em qualquer horário do dia.

A título de prova de conceito, foi apresentado detalhadamente um estudo de caso que analisou o comportamento do trânsito durante uma passeata que ocorreu em na cidade de Salvador (BA). O trânsito foi monitorado por uma semana depois do dia do evento para gerar dados de comparação, possibilitando realizar uma análise comparativa do impacto do evento

no trânsito. Foram mostrados gráficos do comportamento do trânsito em outros eventos, destacando sempre a variação da velocidade média do dia que ocorreu o evento e nos demais dias.

Sobre a metodologia aplicada através da ferramenta Euclides, os resultados apresentados foram considerados promissores e sugerem a viabilidade da abordagem proposta. O desenvolvimento de uma ambiente Web que permita a realização de análises históricas poderia ser explorado pelos órgãos públicos de diversas formas. Os órgãos de trânsito, por exemplo, poderiam estudar o impacto que instalação de uma sinaleira causa no tráfego, e decidir pela permanência ou não do equipamento. Os órgãos de ordem pública poderiam analisar o impacto de uma festa popular ou de uma corrida de atletismo, podendo realizar um estudo dos melhores horários para a realização desses eventos no futuro. Em suma, os órgãos responsáveis por gerir o trânsito nas cidades devem ser capazes de analisar o impacto que intercorrências causam no tráfego, como uma estratégia transversal à tomada de decisão. Possivelmente, quando um evento como um semáforo defeituoso é encontrado, a análise histórica da influência deste evento no trânsito pode servir de subsídio para definição de estratégias e nível de urgência para o conserto dos diversos equipamentos.

O trabalho desenvolvido uniu os conceitos de SIGWEB, dados de trânsitos de semáforos inteligentes, dados de trânsito de serviços de tráfego fornecidos por mapas na Web, Sistemas Inteligentes de Transporte e monitoramento de trânsito, os quais permitiram algumas contribuições listadas abaixo:

- a) Criação de uma nova metodologia que utiliza a informação da rede viária do OSM para criar pontos de monitoramento. Esses pontos de monitoramento são as coordenadas geográficas (iniciais e finais) de trechos da malha viária identificadas na base de dados.
- b) Um algoritmo que utiliza o conceito de área de influência para detectar vias que têm algum tipo de conexão direta ou indireta com uma coordenada (evento).
- c) Avaliação da qualidade da informação do trânsito disponibilizada pela API *Routes* do *Bing Maps*. Essa avaliação é realizada com o principal objetivo de avaliar se os dados informados por essa API são capazes de refletir a variação real da velocidade dos veículos ao longo do tempo.
- d) Desenvolvimento de uma ferramenta para monitorar de forma automática e analisar graficamente o impacto que eventos não recorrentes causam no trânsito das vias na sua vizinhança.

Sugere-se, no futuro, para tornar a metodologia proposta ainda mais útil, uma melhoria na ferramenta, em que a informação da coordenada do evento seja coletada automaticamente utilizando alguma API, ainda não disponível, acessando informações de redes sociais de trânsito, como o *Waze*.

Neste trabalho foram utilizados dados de três semáforos inteligentes para avaliar a precisão dos dados de tráfego fornecidos pelo *Bing Maps*. No futuro poderia se expandir o número de Semáforos Inteligentes fazendo uso da base completa de Semáforos Inteligentes disponíveis para Salvador.

Outra intervenção relevante seria expandir a base de comparação dos Semáforos Inteligentes com outros serviços, como por exemplo o do *Google Maps*. Essa ferramenta é muito mais dissuadida do que o *Bing Maps*, mas ainda não fornece uma chave *trial*, sendo assim excluída por este motivo da pesquisa atual. Porém o conhecimento da sua precisão seria de fundamental importância para a utilização de ferramentas de gerenciamento de trânsito.

Como a metodologia utiliza duas bases de dados da rede viária (*Bing Maps* e OSM), as informações das coordenadas dos pontos de monitoramento nem sempre coincidem com precisão. Esse é um problema que poderá ser automaticamente resolvido quando o OSM começar a fornecer a informação do tráfego em tempo real, ou se o *Bing Maps* fornecer o acesso a sua base de dados da rede viária.

O algoritmo que detecta as vias mais próximas ao evento utiliza o conceito de níveis proposto por este de trabalho. Em alguns casos, pode ser necessário selecionar todas as vias que estão dentro da área de influência, independente do seu nível, porém que tenha alguma relação com a via principal.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, W.; AQUINO, N. B.; PEREIRA, W. F. Considerações sobre o Uso de ITS. **Revista de Transportes Públicos**, p. 33 – 37, 2001.
- ARONOFF, S. **Geographic information systems: a management perspective**. Taylor and Francis, 1989.
- BING. **Platform Bing Maps**. Disponível em: <<https://msdn.microsoft.com/en-us/library/gg427610.aspx>>. Acesso em: 25 nov. 2015.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução a ciência da informação**. 2004. Disponível em< <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd>>. Acesso em: 2 set. 2015.
- CARAPITO, P. P. C. **Estudo comparativo das medidas de curto e médio prazo para redução do fluxo de tráfego em áreas urbanas**. 2002. Dissertação (Mestrado) — Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.
- CARVALHO, M. S.; PINA, M. de F.; SANTOS, S. M. dos. Conceitos básicos de sistemas de informação geográfica e cartografia aplicadas a saúde. In: CONCEITOS básicos de sistemas de informação geográfica e cartografia aplicadas a saúde. [S.l.]: Organização Pan-Americana da Saúde, 2000.
- CIEPLUCH, B. et al. Comparison of the accuracy of OpenStreetMap for Ireland with Google Maps and Bing Maps. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL ACCURACY ASSESSMENT IN NATURAL RESOURCES AND ENVIRONMENTAL SCIENCES, 9., 2010. **Proceedings...** 2010. [S.l.] University of Leicester, 2010. p. 337.
- COELHO, E. **Avaliação dos níveis de congestionamento em vias arteriais com a utilização da micro-simulação**. 2009. Tese (Doutorado) Programa de Pós-graduação Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ., Brasil, 2009.
- FIGUEIREDO, L. M. B. **Sistemas inteligentes de transporte**. 2005. Tese (Doutorado) — Universidade do Porto, 2005.
- FURTADO, V. **Tecnologia e gestão da informação na segurança pública**. [S.l.]: Garamond, 2002.
- GAO, J. H.; PEH, L.-S. **RoadRunner: infrastructure-less vehicular congestion control**. [S.l.]: Intelligent Transport Systems, 2014.
- GOOGLE. **Google Maps API**. Disponível em <<https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/basics>>. Acesso em: 25 nov. 2015.

GOODCHILD, Michael F. Citizens as voluntary sensors: spatial data infrastructure in the world of Web 2.0. **International journal of spatial data infrastructures research**, 2007.

GORNI, D. et al. Open source Web GIS–Sistema de informação geográfica de expedições. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, INPE, 8., 2007. **Anais... 2007**. p. 3953 – 3960.

HERRERA, Juan C. et al. Evaluation of traffic data obtained via GPS-enabled mobile phones: The Mobile Century field experiment. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 18, n. 4, p. 568-583, 2010.

HÜBNER, J. F. **Migração de agentes em sistemas multi-agentes abertos**. 1995. Tese (Doutorado)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

KIRATIRATANAPRUK, Kantip; SIDDHICHAI, Supakorn. Vehicle detection and tracking for traffic monitoring system. In: TENCON 2006. 2006 IEEE REGION CONFERENCE. IEEE, 10., **Proceedings...** 2006. p. 1-4

LAUAND, B. P.; OLIVEIRA, J. Inferindo as Condições de Trânsito através da Análise de Sentimentos no Twitter. **iSys-Revista Brasileira de Sistemas de Informação**, v. 7, n. 3, p. 56 – 74, 2014.

LI, X. et al. Performance evaluation of vehicle-based mobile sensor networks for traffic monitoring. **Vehicular Technology, IEEE Transactions on**, v. 58, n. 4, p. 1647-1653, 2009.

LONGLEY, P. A; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D.W. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. [S.l.]: Bookman, 2013.

LOUREIRO, C. F. G.; LEANDRO, C. H. P.; OLIVEIRA, M. V. T. Sistema centralizado de controle do tráfego de Fortaleza: ITS aplicado à gestão dinâmica do trânsito urbano. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 16., 2002. **Anais...** 2002. p. 19 – 26.

MAPS, H. G.; EARTH, G. C. M. **BROWN**. Indianapolis: Wiley Publishing, 2006.

MARTE, C. L. et al. **Aplicação de técnicas da inteligência artificial para obtenção de indicadores de desempenho como medida de qualidade em rodovias concessionadas**. [S.l.]: [s.n.], 2011.

MENESES, Hamifranco Brito. et al. Indicadores de desempenho para sistemas centralizados de controle do tráfego urbano em tempo real. In: CONGRESSO DA ANPET, 17., 2003. **Proceedings...** 2003..

MEGALINGAM, R. K. et al. Wireless sensor network for vehicle speed monitoring and traffic routing system. In: MECHANICAL AND ELECTRICAL TECHNOLOGY (ICMET), 2010 INTERNATIONAL CONFERENCE ON. IEEE, 2., 2015. **Proceedings...** 2015. p. 1729-1734.

OPENSTREETMAP. **Open Street Map Website**. Disponível em: <www.openstreetmap.org/about>. Acesso em: 25 nov. 2015.

OSRM. **Open Source Routing Machine**. Disponível em:
<<http://map.project-osrm.org/>>. Acesso em: 14 mar. 2015.

PAPACOSTAS, C. S.; PREVEDOUROS, P. D. **Transportation engineering and planning**. [S.l.]: [s.n.], 1993.

PESTANA, M. H.; GAGEIRO, J. G. **Análise de dados para ciências sociais: a complementaridade do SPSS**. 3. ed. Lisboa: Edições Silabo, 2003.

PHAM, D.T. et al. A constructive intelligent transportation system for urban traffic network in developing countries via GPS data from multiple transportation modes. In: INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS (ITSC), 2015 IEEE 18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON. IEEE, 4., 2015. **Proceedings...** 2015. p. 1729-1734.

REIS, M. D. S. Monitoramento automático de trânsito através de técnicas de visão computacional com o OpenCV. **Projetos e Dissertações em Sistemas de Informação e Gestão do Conhecimento**, v. 3, n. 2, 2014.

SAMCZYNSKI, P. et al. Concept of GSM-based passive radar for vehicle traffic monitoring. In: MICROWAVES, RADAR AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM (MRRS), 2011. **Proceedings...** 2011. p. 271-274.

SOUZA, W. D. et al. Informação geográfica voluntária no pantanal: um sistema web colaborativo utilizando a API Google Maps. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, BONITO, MS. PROCEEDINGS OF SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL (GEOPANTANAL), 4., 2012. **Proceedings...** 2012. p. 763 – 772,

SUSSMAN, J. **Introduction to transportation systems**. [S.l.]: [s.n.], 2000.

TOBING, Peter H. L. et al. Application of system monitoring and analysis of vehicle traffic on toll road. In: TELECOMMUNICATION SYSTEMS SERVICES AND APPLICATIONS (TSSA), INTERNATIONAL CONFERENCE ON. IEEE, 8., 2014. **Proceedings...** 2014. p. 1-5.

THURGOOD, G. S. Development of a freeway congestion index using an instrumented vehicle. Transportation research record. **National Research Council**, n. 1494, p. 21 – 29, 1995.

VICENTE, Paula; REIS, Elizabeth; FERRÃO, Fátima. **A amostragem como factor decisivo de qualidade**. Lisboa: Edições Silabo, 1996.

WEIGANG, L. et al. Implementação do Sistema de Mapeamento de uma Linha de Ônibus para um Sistema de Transporte Inteligente. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, SEMINÁRIO INTEGRADO DE SOFTWARE E HARDWARE (SEMISH), 21., 2001. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2001. p. 72 – 85.

ZILSKE, M.; NEUMANN, A.; NAGEL, K. OpenStreetMap for traffic simulation. In: EUROPEAN STATE OF THE MAP-OPENSTREETMAP CONFERENCE, 1. ,2011. **Proceedings...** [S.l.]: [s.n.], 2011. p. 126 – 134.