Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Instituto de Matemática e Estatística

Anna Beatriz Espíndola de Oliveira

Estimação de medida locacional fuzzy para contagem volumétrica de veículos em via urbana

Rio de Janeiro
2016

Anna Beatriz Espíndola de Oliveira

Estimação de medida locacional fuzzy para contagem volumétrica de veículos em via urbana

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Ciências Computacionais, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientadora: Prof.ª Dra. Regina Serrão Lanzillotti

Rio de Janeiro

2016

CATALOGAÇÃO NA FONTE

UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC-A

O48 Oliveira, Anna Beatriz Espíndola de.
Estimação de medida locacional fuzzy para contagem volumétrica de veículos em via urbana / Anna Beatriz Espíndola de Oliveira. - 2016.
79f.:il.

Orientador: Regina Serrão Lanzillotti.
Dissertação (Mestrado em Ciências Computacionais) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Matemática e Estatística.

1. Engenharia de tráfego - Métodos estatísticos. 2.Trânsito - Fluxo. 3. Trânsito urbano. 4. Lógica difusa. I. Lanzillotti, Regina Serrão. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Matemática e Estatística. III. Título

CDU 656:519.2

Autorizo, para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Anna Beatriz Espíndola de Oliveira

Estimação de medida de locacional fuzzy para contagem volumétrica de veículos em via urbana

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Ciências Computacionais, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovada em 23 de agosto de 2016.

Banca Examinadora:

_____

Prof.ª Dra. Regina Serrão Lanzillotti (Orientadora)

Instituto de Matemática e Estatística– UERJ

_____

Prof. Dr. Felipe Rafael Ribeiro Melo

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

_____

Prof.ª Dra. Vera Maria Benjamim Werneck

Instituto de Matemática e Estatística– UERJ

Rio de Janeiro

2016

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e a minha irmã, fonte inesgotável de amor, afeto, coragem e inspiração.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo amparo nos dias difíceis, por me mostrar o caminho nas horasde dúvida e acalmar meu coração diante das incertezas da vida. Pela graça de ter na minha história pessoas incríveis a quem agradeço, admiro e amo.

Aos meus pais, Luciano da Cláudia e Cláudia do Luciano. Vocês são a prova de que a melhor maneira de educar os filhos é através do exemplo, de que o amor supera e cura todas as feridas, as inseguranças e o desamor. Obrigada, mais uma vez, por acreditarem em mim, no meu potencial, por permitir que eu nunca desistisse e por fazerem dos meus sonhos, seus. Vocês são tudo pra mim, meu refúgio e fortaleza. Amo muito vocês!

À minha irmã, por ser colo, carinho e aquele pedacinho de chão quando eu preciso. Pelos cafunés nas horas tensas, pela paciência na hora dos estresses, pela atenção em toda a vida. Nada nesse mundo tem graça se eu não puder dividir com você. Te amo, muito, muito, muito!

Aos meus amigos, que ainda acham que é loucura essa vida acadêmica, e que aceitam as minhas metas, os meus sumiços e estão sempre de braços e ouvidos abertos para me receber e ouvir.

Aos colegas de mestrado, em especial à Alane, Jair e Khalil. Obrigada pelo suporte nas horas difíceis, por todos os programas elaborados e executados, pelas horas gastas me explicando C++, por dividirem todo drama dessa correria do dia a dia e, principalmente, pelas gargalhadas de desespero. Percorremos este caminho juntos, nos fortalecendo. Não desistam! Obrigada pela rica troca e cumplicidade.

Ao meu time da KPMG, Cris, gerentes e o staff mais maravilhoso desse universo. Obrigada pela flexibilidade, pelo suporte, pelo carinho e pela atenção. Não só relacionado ao trabalho e ao mestrado, mas a vida. Vocês são incríveis, têm sonhos maravilhosos e são exemplos de vida e carreira. À vocês, minha singela gratidão!

Aos mestres, em especial a Prof. Vera, que durante esses dois anos estiveram sempre dispostos a ajudar, atender, orientar, mesmo diante das numerosas demandas. Que ampliaram os meus horizontes com ricos conhecimentos e deixaram sua marca na minha história e o desejo de seguir a mesma vocação.

À minha Orientadora, por todas as vezes que me fez chorar, querer desistir e sair correndo. Por todas as vezes que me fez sentir pequena, a fim de me mostrar o quão grande eu era e aonde eu poderia chegar. Eu consegui! E vou além. Obrigada por permitir que eu ficasse por perto ao longo desses 7 anos, por acreditar em mim e me encorajar a ir mais longe (e pra longe), por compartilhar os seus incríveis ensinamentos, por ser professora, mãe e amiga. Obrigada por me dar asas e por me ensinar a voar.

Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.
Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.

Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

OLIVEIRA, Anna Beatriz Espíndola. *Estimação de medida locacional fuzzy para contagem volumétrica de veículos em via urbana*. 2016. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciências Computacionais) - Instituto de Matemática e Estatística, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

O volume de tráfego urbano apresenta variações de sazonalidade com picos horários durante o período diário. Este cenário tem ocasionado congestionamentos, estas variações do fluxo de veículos influenciam a média. Sendo assim, esta proposta sugere uma medida locacional robusta Fuzzy, que traduz a Contagem Volumétrica de Veículos (CVV) em pertinências, que são usadas como ponderadores da Média Fuzzy. Na obtenção desta medida locacional, foram usadosos métodos FNM e o GFNM com o uso do Princípio de Extensão, avaliada pela Distância Euclidiana e pela Distância de Mahalanobis, respectivamente. O cálculo da medida locacional robusta fuzzy minimizará a variabilidade do fluxo de veículos sem exclusão dos horários considerados *outliers*. A validação da adequabilidade da robustez desta média é aferida pela função critério, que deve ser minimizada em iterações, atingindo valor inferior daquela correspondente a iteração anterior. A aplicação foi realizada para intervalos horários da CVV nos dias da semana para a interseção da Av. Genaro de Carvalho e Estada Benvindo de Novaes, local de variações frequentes durante o período horário do dia. O método priorizou verificar o comportamento de vias que possivelmente poderão ser consideradas candidatas a níveis de possíveis retenções. As médias fuzzy consideradas robustas foram aquelas que apresentaram convergência para a função critério.

Palavras-chave: Medida de locação central Fuzzy. Estimação robusta. Função critério.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Anna Beatriz Espíndola. Estimation of fuzzy weighted average to counting volumetric of vehicles in urban road. 2016. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciências Computacionais) - Instituto de Matemática e Estatística, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

The volume of urban traffic presents seasonal variations with peak times during the daily period. This scenario has caused congestion and, these variations of the traffic flow influence the average. Thus, this proposal suggests a robust measure locational Fuzzy, which translates to Count Volumetric vehicles (CVV) in pertinences, which are used as weights to the Fuzzy average. In obtaining this locational measure were used FNM and GFNM methods, that using the extension principle, assessed by Euclidean distance and the Mahalanobis Distance, respectively. The calculation of fuzzy robust locational measure will minimize the variability of the flow of vehicles without excluding the observations that were considered outliers. The validation of the suitability of this average strength is measured by the criterion function that must be minimized iteratively, reaching less than that corresponding to the previous iteration. The application was made for hourly intervals of CVV on weekdays to the intersection of Av. Genaro de Carvalho and Street Benvindo de Novaes, place of frequent changes during the time period of the day. The method gave priority to check the process of behavior that could possibly be considered as candidates for possible levels of retention. Fuzzy robust medium considered were those that presented the convergence criteria for the function.

Keywords: Central Location; Robust Estimation; Criterio Function

.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tubo pneumático..... 19
Figura 2 - Detectores de laços indutivos..... 20
Figura 3 - Sensores piezoelétricos..... 21
Figura 4 -Sensores magnéticos..... 22
Figura 5- Peso em movimento..... 22
Figura 6 - Radar por micro-ondas..... 24
Figura 7 - Sensores infravermelho..... 25
Figura 8 - Sensores ultrassônicos..... 26
Figura 9- Gráfico de caixa (Marôco, 2003) 29
Figura 10 - Conjuntos Clássicos x Conjuntos Nebulosos..... 34
Figura 11 - Interseção de categorias..... 34
Figura 12- Representação do conjunto Fuzzy por diagramas..... 36
Figura 13 - Imagem de um subconjunto *fuzzyA*a partir do princípio de extensão para uma função *f* estritamente crescente..... 37
Figura 14 - Esquema lógico de um sistema fuzzy..... 38
Figura 15 - Arquitetura, metodologia de desenvolvimento e dinâmica de um sistema fuzzy..... 39
Figura 16- Diagrama de Atividades..... 46
Figura 17 - Trecho no qual o método foi aplicado..... 48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores críticos (Z_c) para 5% de significância no teste de Grubbs..... 30
Tabela 2 - Contagem Volumétrica de Veículos a nível horário..... 49
Tabela 3 - Cálculo da Norma da Distância Euclidiana..... 51
Tabela 4 - Avaliação das Pertinências segundo a Contagem Volumétrica de Veículos a nível horário para as vias urbanas..... 52
Tabela 5 - Avaliação do quadrado das Pertinências segundo a Contagem Volumétrica de Veículos a nível horário para as vias urbanas..... 53
Tabela 6 - Cálculo da Média Fuzzy..... 54
Tabela 7 - Cálculo da Norma da Distância Euclidiana – 1ª Iteração..... 55
Tabela 8 - Avaliação das Pertinências segundo a Contagem Volumétrica de Veículos a nível horário para as vias urbanas – 1ª Iteração..... 56
Tabela 9 - Avaliação do quadrado das Pertinências segundo a Contagem Volumétrica de Veículos a nível horário para as vias urbanas – 1ª Iteração..... 57
Tabela 10 - Medida Locacional Fuzzy (CVV) e CVVs correspondentes a pertinência máxima da distribuição – 1ª Iteração..... 58
Tabela 11 - Avaliação das Pertinências segundo a Contagem Volumétrica de Veículos a nível horário para as vias urbanas– 2ª Iteração..... 59
Tabela 12 - Medida Locacional Fuzzy (CVV) e CVVs correspondentes a pertinência máxima da distribuição – 2ª Iteração..... 60
Tabela 13 - Avaliação das Pertinências segundo a Contagem Volumétrica de Veículos a nível horário – 3ª Iteração..... 61
Tabela 14 - Medida Locacional Fuzzy (CVV) e CVVs correspondentes à pertinência máxima da distribuição – 3ª Iteração..... 62
Tabela 15 - Desvio da CVV em relação à média por via e sentido para cada intervalo horário em relação à média de cada via nos dois sentidos..... 64
Tabela 16 - Distância de Mahalanobis e Pertinências para cada intervalo horário..... 65
Tabela 17 - Obtenção da Média Fuzzy..... 66
Tabela 18 - Medida Locacional Fuzzy (CVV) e CVs correspondentes à cada via..... 67
Tabela 19 - CVV estimadas..... 68
Tabela 20 - Desvio da CVV em relação à média fuzzy para cada via e sentido por intervalo horário..... 69

Tabela 21 - Distância de Mahalanobis e Pertinências para cada intervalo horário..... 70
Tabela 22 - Média Fuzzy..... 71
Tabela 23 -Medida Locacional Fuzzy (CVV) e CVs correspondentes à cada via..... 72
Tabela 24 - Medida Locacional Fuzzy (CVV) e CVs correspondentes à cada via..... 72
Tabela 25- Medida Locacional Fuzzy (CVV) e CVs correspondentes à cada via – 8ª Iteração..... 73

LISTA DE ABREVIAÇÕES

CC	Conjuntos Clássicos
CF	Conjuntos Fuzzy
CVV	Contagem Volumétrica de Veículos
FNM	Fuzzy n-means – Algoritmo de Média Fuzzy
GFNM	Algoritmo Generalizado de Média Fuzzy
LF	Lógica Fuzzy
NF	Números Fuzzy
PE	Princípio de Extensão
SF	Sistema Fuzzy
TCF	Teoria dos Conjuntos Fuzzy
UD	Universo de Discurso
UML	Linguagem de Modelagem Unificada

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	14
1	**ENGENHARIA DE TRÁFEGO**	16
1.1	**Definição**	16
1.2	**Histórico**	16
1.3	**Determinação do volume de tráfego**	17
1.4	**Contagens de veículos em vias urbanas**	17
2	**OUTLIERS SOB A ÓTICA DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS**	28
2.1	**Gráfico de Caixa**	29
2.2	**Modelos de discordância**	29
2.3	**Teste de Dixon**	30
2.4	**Teste de Grubbs**	31
2.5	**Z-escores**	31
3	**LÓGICA FUZZY**	33
3.1	**Princípios da Lógica Fuzzy**	33
3.2	**Princípio de Extensão de Zadeh (PE)**	36
3.3	**Sistemas Fuzzy (SF)**	37
4	**METODOLOGIA**	40
4.1	**Algoritmo de Média Fuzzy (FNM)**	40
4.2	**Algoritmo generalizado de média fuzzy (GFNM)**	42
4.3	**Diagrama de Atividades**	44
5	**APLICAÇÃO E RESULTADOS**	47
5.1	**Método FNM**	50
5.2	**Método GFNM**	63
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
	REFERÊNCIAS	76

INTRODUÇÃO

O crescimento do volume de tráfego urbano ocasionado pelo aumento da frota de veículos no país gera congestionamentos e tem imposto aos planejadores das cidades que incluam estudos de reconhecimento de padrões de tráfego (JANNUZZI, 2008) que pode ser avaliada em função da Contagem Volumétrica de Veículos (CVV) com a avaliação da sazonalidade do fluxo de veículos identificando picos horários (*outliers*).

Para que se possa garantir um trânsito em condições seguras, há que se pensar na organização de uma sinalização semafórica eficiente, que têm a função de alternarem o direito de passagem aos veículos e pedestres de duas ou mais vias que se cruzam em nível, liberando a passagem simultânea de movimentos compatíveis àqueles que não são conflitantes, ao mesmo tempo em que retém os demais movimentos (TEIXEIRA, 2009). Nas vias em que existem semáforos, para que haja um bom desempenho do trafego nos aspectos segurança, fluidez e conforto, é necessário o controle eficaz destes semáforos, desde a sua instalação até a atribuição dos tempos de operação, compatíveis com a demanda de tráfego e capacidade viária, com monitoramento constante da sua operação e manutenção.

Os semáforos podem controlar redes de tráfego de forma fixa ou atuado pelo tráfego, sendo que a vantagem deste último em relação ao primeiro é que ele se adapta às condições do tráfego em tempo real em função da variação da demanda, sendo útil para o controle de interseções onde é difícil de implementar múltiplos planos por tempo fixo, eliminando a necessidade de atualizações frequentes dos planos semafóricos. (SOUZA JÚNIOR, 2009).

Valores atípicos (*outliers*) são comuns em distribuições de Contagem Volumétrica de Veículos, indicando baixíssimos volumes e picos horários que influenciam na obtenção de valores médios. Um controle é robusto se visa ajustar a robustez da média por métodos de controle otimizado, de uma maneira a tornar os sistemas imunes a uma classe especifica de perturbações (HADDAD, 2001). Os métodos de ajuste de valores de tendência central podem vir a não rejeitar os resultados discrepantes, mas exigem cálculos iterativos.

A proposta é utilizar a Lógica Fuzzy para estabelecer médias robustas considerando os picos horários que facilitarão a determinação dos tempos de ciclo do semáforo, avaliando a medida locacional mediante o Princípio de Extensão Fuzzy, propostos por Sârbu e Pop (2000) e Rouvray (1997), autoresque abordam os problemas associados aos *outliers* e robustez, aspectos que foram tratados apenas a partir dos últimos 20 anos.

Apesar destes problemas serem contemporâneos, existem poucas referências bibliográficas em simultaneidade da utilização de médias robustas fuzzy como suporte na modelagem do controle de tráfego, embora já tenha havido aceitação desta proposta tanto na academia (OLIVEIRA, 2011a, 2011b, 2011c, 2013) e (OLIVEIRA; LANZILLOTTI, 2011) quanto nos sistemas operacionais de tráfego (RENTERÍA, 2002), (BORGES, 2002). Neste sentido, foi feita uma investigação exaustiva nos artigos mais recentes, porém ainda não houve contemplação deste tema.

O método Algoritmo de Média Fuzzy (FNM) serviu como motivação na tentativa de minimizar a utilização da média sem considerar a existência de *outlier*. Portanto, foi válido implementar este tema em projeto de Iniciação Científica, no ano de 2010. A metodologia foi aplicada para o fluxo de tráfego do Aterro do Flamengo – RJ, no sentido Zona Sul para o Centro para seis dias da semana (Segunda-feira a Sábado) para intervalos horários do dia. Os resultados foram divulgados na 14ª Escola de Séries Temporais e Econometria (ESTE), no XIV Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha (SPOLM), na X Semana do IME, na 20º Semana de Iniciação Científica da 22ª UERJ sem muros e utilizados como referência para o trabalho de conclusão do bacharelado em Estatística, (OLIVEIRA, 2011a, 2011b, 2011c, 2013) e (OLIVEIRA; LANZILLOTTI, 2011).

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos. No Capítulo 1, de enfoque introdutório, é realizado um levantamento do estado da arte da Engenharia de Tráfego em seu processo histórico, onde é explicitada a importância da Contagem Volumétrica de Veículos (CVV), destacando os impactos na retenção das vias e nos custos de deslocamentos, a necessidade do reconhecimento de padrões pela sazonalidade e obtenção da medida de locação robusta para facilitar do dimensionamento dos tempos de ciclo do semáforo. O Capítulo 2 trata de procedimentos para a identificação de *outliers*, informações que não devem ser desconsideradas na obtenção de medidas locacionais do volume de tráfego na estrutura temporal. A aplicação dos métodos identificados será realizada na elaboração conclusiva desta dissertação, a fim de comparar as médias obtidas em ambos os procedimentos. O Capítulo 3 aborda a teoria da Lógica Fuzzy sob o enfoque do Princípio de Extensão, em especial os conceitos utilizados no modelo para obter a média robusta Fuzzy. Dando sequência, no Capítulo 4,éexplicitadoo método Algoritmo de Média Fuzzy (FNM) e o método Algoritmo Generalizado de Média Fuzzy (GFNM).Finalmente, no Capítulo 5, é feita a aplicação dos métodos para avaliar a Média Fuzzy da CVV implementado na distribuição das vias Avenida Genaro de Carvalho e Estrada Benvindo de Novais (Recreio/ RJ).

1. ENGENHARIA DE TRÁFEGO

1.1. Definição

Ramo da engenharia de transportes que se relaciona com o projeto geométrico, o planejamento e a operação do tráfego de estradas e vias urbanas, suas redes, seus terminais, o uso do solo adjacente e o seu inter-relacionamento com os outros meios de transporte (ITE, 2013).

1.2. Histórico

A engenharia de tráfego surgiu com o advento do automóvel. O primeiro semáforo foi instalado em Houston (ITE, 2013), Texas, em 1921. E o primeiro sistema de semáforo coordenado, também, na mesma cidade, em 1922.

No Brasil, a Engenharia de Tráfego evoluiu como um ramo da Engenharia a partir do final da década de 50, face ao aumento do processo de urbanização causado pela industrialização dos centros urbanos, particularmente da indústria automobilística.Tem como principal objetivo proporcionar a movimentação segura, eficiente e conveniente de pessoas e mercadorias.

O bom funcionamento do tráfego depende das características do tráfego inerente ao estudo do usuário da via, dos veículos, da velocidade, do tempo de viagem e seus respectivos atrasos; do volume de tráfego; da origem e/ou destino; a capacidade viária; o estudo do estacionamento; acidentes; e o transporte público.

As operações no tráfego são responsáveis pormedidas regulamentadoras, como leis e normas. A missão da CET-Rio (2015), órgão regulamentador do trânsito na cidade do Rio de Janeiro, é planejar, coordenar e controlar, com os recursos da Engenharia de Tráfego, a circulação de pedestres e veículos, bem como definir a utilização dos espaços viários, objetivando a orientação, a segurança e o bem-estar da população. O site da companhia disponibiliza o volume diário de tráfego nas principais vias, os locais de interdição por acidentes, colisões, atropelamentos, capotagens, além das interdições, radares e indicadores de tráfego nas principais vias da cidade.

Os planos de controle de tráfego definem o tipo de sinalização e/ou controle a ser adotado em determinada situação. Além da estrutura municipal e de planos de controle, o Brasil possui um Plano Nacional de Contagem de Trânsito (PNCT) que planeja ações estratégicas para ampliação, adequação e segurança da infraestrutura federal de transportes. Este plano foi

implementado em todo o país e é utilizado no Rio de Janeiro para a realização da contagem volumétrica de veículos.

1.3. Determinação do volume de tráfego

Segundo Goldner (2009), para realizar a contagem volumétrica de veículos, é necessário conhecer de que forma o volume de tráfego é contabilizado. O número de veículos que passam numa determinada seção da via em determinada unidade de tempo é denominado Volume de Tráfego. Já o volume médio diário anual do tráfego (AADT ou VMDa), é o valor que corresponde ao volume total anual divido por 365, que é a quantidade de dias. O volume diário do tráfego ou volume médio diário (ADT ou VMD) é calculado pelo volume total durante dado período (inferior a um ano) divido pelo número de dias referente a esse período. Assim, tem-se o volume médio diário mensal (VMDm), que é dado pelo número total de veículos trafegando em um mês dividido pelo número de dias do mês. O volume médio diário semanal (VMDs), dado pelo número total de veículos trafegando em uma semana dividido por sete, é sempre acompanhado pelo nome do mês a que se refere. E o volume médio diário em um dia de semana (VMDd), que deve ser sempre acompanhado pela indicação do dia de semana e do mês correspondente. Em todos esses casos, a unidade é veículos/dia, sendo o VMDa, a medida de maior importância. Os demais são geralmente utilizados como amostras a serem ajustadas e expandidas para determinação do VMDa.

Esta medida pode ser avaliada segundo modais de transporte relativos aos diferentes tipos de veículos que compõem o tráfego, isto é:automóveis, caminhões, ônibus, motos, bicicletas, entre outros. Esta classificação contribui na ocorrência das variações do volume do tráfego, que possuem diversas causas e podem ser classificadas como variações sazonais que ocorrem ao longo do ano; variações diárias, que acontecem ao longo da semana; variações horárias, que surgem durante o dia; e variações dentro da hora.

1.4. Contagens de veículos em vias urbanas

As contagens de tráfego são feitas com o objetivo de conhecer o número de veículos que transitam através de um determinado ponto da via, durante certo período, podendo se determinar o Volume Médio Diário (VMD), a composição do tráfego, etc. Tais dados servem para a avaliação de acidentes, e fornecem subsídios para o planejamento urbano, estudos de viabilidade e conservação. Permitem, ainda, construir séries temporais para análise da sazonalidade e da tendência de crescimento do tráfego. (GOLDNER, 2009)

1.4.1. Métodos de contagem

Existem duas maneiras para o cálculo da contagem volumétrica de veículos: contagem manual e contagem mecânica. A primeira utiliza o elementohumano e permite classificação por tipo, tamanho, etc. Apenas um pesquisador pode realizar a contagem para até 1.000 veículos/h ou 200 pedestres/h, quando o período de contagem é inferior a oito ou dez horas.

O procedimento de contagem é feito da seguinte maneira: os observadores precisam ser trocados a cada duas ou três horas, devido à fadiga. É necessário dividir o período de contagem em intervalos de cinco a quinze minutos. Podem-se utilizar planilhas com anotação a lápis ou contadores manuais, que acumulam o número de veículos do período de contagem.

A vantagem desse método é dada pela boa precisão e pelo maior número de informações, além da grande flexibilidade, simplicidade e rapidez imposta pelo mesmo. Entretanto, o método apresenta limitação de cobertura e possui um custo maior em relação à contagem mecânica.(GOLDNER, 2009)

A contagem mecânica utiliza detectores de tráfego de instalação permanente ou móvel. Apresenta baixo custo/hora, possui uma boa amplitude de tempo de contagem e boa precisão.Porém, não fornece muitas informações e necessita de um investimento inicial alto.

Existem dois tipos de equipamentos para a execução da contagem de veículos e monitoramento do trânsito: os equipamentos invasivos e não invasivos, também conhecidos como intrusivos e não-intrusivos. (FEITOSA, 2012).

1.4.1.1. Equipamentos invasivos

Os equipamentos eletrônicos invasivos são aqueles que possuem a necessidade de ter ao menos uma parte instalada junto ou sob à camada asfáltica. Devido a essa característica, a via é interrompida quando da instalação ou reparodo equipamento até que o serviço seja concluído.

1.4.1.1.1. Tubo pneumático

Segundo Feitosa (2012), sensores por tubo pneumático funcionam a partir da pressão do ar enviada ao longo de um tudo de borracha assim que os pneus de um veículo passam sobre o mesmo. A pressão de ar fecha um interruptor, que produz um sinal elétrico e otransmite a um programa de computador para análise. O tubo é instalado perpendicularmente

à direção do fluxo do tráfego e normalmente é utilizado para contagem de tráfego de curto prazo, classificação de veículos por número de eixos e espaçamento, planejamento do tráfego e pesquisas acadêmicas.

As vantagens do uso desse equipamento são a sua rápida instalação, para permanente ou temporária gravação de dados, e o baixo consumo de energia elétrica. Suas desvantagens são a contagem imprecisa de caminhões ou ônibus muito largos, sua sensibilidade à temperatura e sua durabilidade, uma vez que pode haver desgaste da borracha ou ruptura em sua estrutura devido ao tráfego dos veículos. Além disso, o tubo pneumático é facilmente acessível, uma vez que é instalado no solo e pode ser alvo de vandalismo.

Figura 1 - Tubo pneumático

Fonte: Google images, 2016

1.4.1.1.2. Detectores de laços indutivos

Esse sistema é utilizado para detectar a passagem ou presença de veículos, ou fazer a contagem. Os laços indutivos são os sensores mais comuns para o gerenciamento de aplicações no tráfego. Um circuito eletrônico é instalado junto ao solo, o qual emite sinais que vão de 10 Khz a 50 KHz. Quando um veículo passa sobre o mesmo, tal frequência é reduzida, fazendo com que as unidades eletrônicas emitam sinais ao controlador, o que indica a presença de um veículo. (FEITOSA, 2012).

Quando utilizados dois laços, é possível a identificação da velocidade dos veículos. Nas versões mais recentes dessa tecnologia, as quais utilizam uma frequência mais alta, é possível a estimação da quantidade de metal do veículo, com isso sendo possível obter a classificação de cada veículo.

A vantagem dos laços indutivos é o bom funcionamento na captura de dados básicos do tráfego como, volume, presença, velocidade e direção. Assim como os tubos pneumáticos,

os laços indutivos têm um baixo custo quando comparados aos sensores não-invasivos. Outra vantagem é a sua flexibilidade física, possibilitando grande variedade de aplicações. Devido a necessidade de instalação junto ao solo é necessário a paralisação do tráfego no local, causando muitas vezes certos transtornos no trânsito.

A restauração física do laço não é um trabalho viável pelo tempo gasto e sua dificuldade. Portanto, ao apresentar problemas, esse sistema normalmente é reinstalado por completo. Outra desvantagem é a dilatação e contração causadas pela constante mudança de temperatura do meio ambiente.

Figura 2 - Detectores de laços indutivos

Fonte: Google *images*, 2016

1.4.1.1.3. Sensores Piezoelétricos

Um sensor piezoelétrico é capaz de converter energia cinética em energia elétrica. Essematerial é formado por polímeros, os quais são macromoléculas geradas por unidadesestruturais menores, os monômeros. A quantidade de monômeros repetidos em uma macromoléculaé chamado grau de polimerização. Quando uma pressão é exercida sobre ospiezoelétricos, ou cristais piezoelétricos, os mesmos emitem um campo elétrico que podeser coletado como tensão elétrica.

Segundo Feitosa (2012), a construção do sensor piezoelétrico é formado pelajunção de um elemento central de metal, trançado, seguido pelo material piezoelétrico euma camada metálica exterior. Durante o processo de fabricação, ele é submetido a umintenso campo elétrico que polariza radialmente o material piezoelétrico. O campo depolarização muda o polímero amorfo em uma forma semi-cristalina, mantendo a flexibilidadeoriginal do polímero. O piezoelétricosgeram uma voltagem quando submetidosa choques mecânicos ou vibrações. A tensão medida é proporcional à força ou peso doveículo, onde a magnitude do

efeito piezoelétrico depende da direção e força em relaçãoaos eixos do cristal. Por essa ação ser dinâmica, a tensão diminui quando o ambientepermanece constante.

Devido a tais características, tal tipo de sensor permite obter informaçõespor meio do peso e da velocidade dos veículos. Sua vantagem é a extrema precisãoem classificar os veículos e identificar a sua velocidade, individualmente. Embora sejammais caros que os laços indutivos, eles são mais precisos e adquirem informações maiscompletas. Suas desvantagens se assemelham ao dos laços indutivos uma vez que, parainstalá-los, faz-se necessário a interrupção do trânsito. Além disso, eles não exercem muitobem sua função quando instalados em solos irregulares.

Figura 3 - Sensores piezoelétricos

Fonte: Google *images*, 2016

1.4.1.1.4. Sensores Magnéticos

Sensores magnéticos são dispositivos que indicam a presença de um objeto metálico através da detecção de uma perturbação no campo magnético do planeta Terra. Tal efeito é conhecido como anomalia magnética. Dois tipos de sensores magnéticos distintos são utilizados para essa medição de tráfego. O primeiro detecta a alteração horizontal e vertical do campo magnético exercido pela Terra de acordo com a densidade do metal que o veículo possui. O segundo é conhecido como bobina de indução ou magnetômetro de busca, e seu funcionamento é realizado por meio da mudança nos valores das linhas de fluxo do campo magnético causado pelo movimento.

A utilização destes sensores tem como vantagem a pouca sensibilidade à temperatura ambiente e ao trânsito congestionado. Alguns sensores também emitem seu sinal sem a necessidade de cabos, via *wireless*. Suas desvantagens são a pequena zona de detecção que

tais modelos alcançam, a dificuldade em detectar veículos parados e a sua instalação, a qual também necessita paralisar o tráfego no local e cortar a malha viária.

Figura 4 - Sensores magnéticos

Fonte: Google *images, 2016*

1.4.1.1.5. Peso em movimento

Tais sensores são capazes de estimar o peso bruto de um veículo, bem como a parte deste peso que é transportada por cada conjunto de roda, eixo, ou conjunto de eixos. Ele é utilizado principalmente para fiscalizar caminhões de carga. A sua vantagem é a exatidão em retornar o peso do veículo. Sua desvantagem é não ter recursos para diversos tipos de medição, como por exemplo, da velocidade dos veículos.

Figura 5 - Peso em movimento

Vista geral do local de instalação dos sensores de pesagem em movimento.

Fonte: Google *images*, 2016

1.4.1.2. Equipamentos não-invasivos

Os equipamentos considerados não-invasivos, diferentemente dos invasivos, são instalados sobre o solo. Embora sejam mais caros, os momentos de instalação ou manutenção não prejudicam o tráfego no local.

1.4.1.2.1. Processador de vídeo e imagem

Câmeras de vídeo foram introduzidas no gerenciamento de tráfego de veículo para a vigilância das estradas devido à sua capacidade de transmitir imagens em circuito fechado de televisão para a interpretação de um operador humano. Atualmente, existem sistemas de gerenciamento do tráfego urbano e de estradas que, com a utilização do processamento digital de imagem de vídeo, conseguem identificar automaticamente cenas de interesse e extrair informações importantes para a vigilância e o controle do tráfego.

Os processadores de imagem de vídeo tipicamente consistem na utilização de uma ou mais câmeras e um microcomputador com um sistema instalado para interpretar as imagens recebidas e transformá-las em dados do fluxo de tráfego. Esse tipo de sistema, com apenas uma câmera, pode substituir vários laços indutivos e proporcionar a detecção de veículos em várias pistas e, muitas vezes, com menores custos de manutenção. As informações proporcionadas, normalmente, dependem do aplicativo instalado no microcomputador e podem variar em uma ou mais ações aqui descritas: verificar a presença do veículo; classificar o veículo devido ao seu comprimento; medir a densidade do fluxo de veículos; reconhecer placas de licenciamento; e/ou velocidade dos veículos. (FEITOSA, 2012)

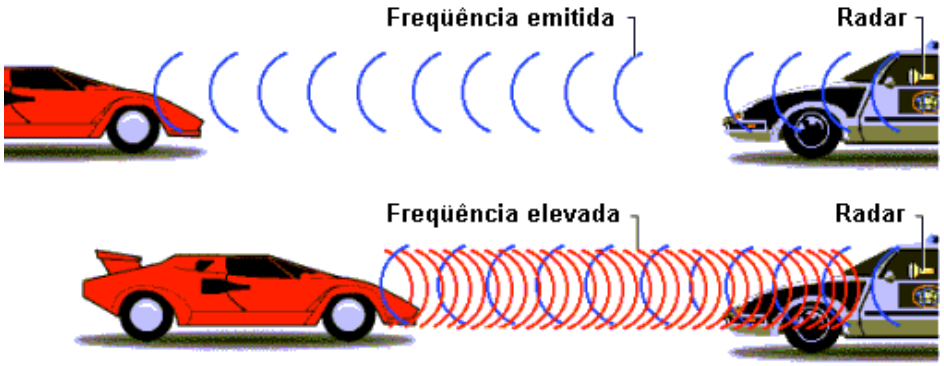
Entre outras vantagens, temos a instalação sem qualquer tipo de transtorno ao trânsito, o registro de imagens que podem ser avaliadas posteriormente por profissionais competentes para, por exemplo, entender o motivo de um acidente e a interpretação e a transformação automática das imagens em dados relevantes. As desvantagens do uso de câmeras estão relacionadas ao meio ambiente: sombra, dia, noite, tempo nublado e chuva, entre outros, podem atrapalhar a captura e,consequentemente, o processamento das imagens; ventos fortes podem deslocar o campo de visão da câmera. Problemas de oclusão de objetos também são bem comuns.

1.4.1.2.2. Radar por Microondas

O termo microondas se refere ao comprimento de onda de energia transmitida, geralmente entre 1 e 30 cm, o que corresponde a uma faixa de frequência de 1 GHz e 30 GHz. Sensores de microondas foram projetados para coletar dados do tráfego e monitorar as estradas dos EUA, onde é limitado por regulamentos da FCC 2 com bandas de frequência de operação próximo dos 10.5, 24.0, e 34.0 GHz. O radar de micro-ondas transmite a energia na direção de uma área da estrada. A largura do feixe ou da área em que a energia do radar projetada é controlada pelo tamanho e distribuição de energia em toda a abertura de uma antena, a qual se localiza na parte superior do radar. Quando um veículo passa através do feixe transmitido pela antena, uma parte dessa energia é refletida de volta para o radar, entra em um receptor onde a detecção é feita e os dados do veículo, tais como velocidade, volume, ocupação e comprimento são calculados. (FEITOSA, 2012)

As vantagens dos radares por microondas são: geralmente não apresentam sensibilidade contra as más condições climáticas; fornecem uma medida imediata da velocidade do veículo; e estão disponíveis em modelos que suportam múltiplas pistas. Em contrapartida, alguns sensores não conseguem detectar veículos parados, e existe certa dificuldade em ajustar a altura da antena para proporcionar a largura correta do feixe de energia.

Figura 6 - Radar por micro-ondas



Fonte: Google *images*, 2016

1.4.1.2.3. Sensores Infravermelho

Segundo Feitosa (2012), os sensores infravermelhos são divididos em Ativos e Passivos. Eles são instalados em um lugar elevado na pista para a identificação da aproximação do veículo, o ponto de partida do tráfego ou a trajetória do tráfego. Esses

sensores são utilizados para identificar a presença de veículos em semáforos, volume do veículo, velocidade, avaliação do comprimento, medida do tamanho da fila de veículos e de classificação dos veículos. Existem sistemas mais modernos que tem a capacidade de produzir imagens tridimensionais dos veículos, principalmente para verificar a sua classificação. Tal sensor converte energia refletida (ou emitida) pela luz em sinais elétricos. Esses sinais são processados em tempo real e são usados para analisar presença de um veículo.

Os sensores do tipo infravermelho ativo são divididos em dois aparelhos: um que ilumina as zonas de detecção com energia infravermelha de baixa potência produzida por laser diodos; e o outro que é montado na pista e recebe a energia infravermelha refletida dos veículos que transitam através da zona de detecção.

Os sensores do tipo infravermelho passivos detectam a energia que é emitida a partir de veículos, pisos e outros objetos em seu campo de visão. Diferente dos sensores infravermelho ativos, os sensores infravermelho passivos não transmitem energia própria. Esses sensores no gerenciamento do tráfego têm um ou mais detectores sensíveis à energia emitida pelos elementos.

De modo geral, as vantagens encontradas no uso dos sensores infravermelho são a instalação, a qual não requer um procedimento invasivo no pavimento e podem ser utilizados para coletar informações de mais de uma pista. As desvantagens do uso desse tipo de sensor são diversas, como o intenso brilho da luz solar que pode proporcionar sinais indesejados: partículas na atmosfera, fumaça e condições climáticas como chuva, neblina ou neve que podem dispersar ou absorver energia e assim atrapalhar o funcionamento dos sensores.

Figura 7: Sensores infravermelho

Fonte: Google *images*,2016

1.4.1.2.4. Sensores Ultrassônicos

Segundo Feitosa (2012), tais sensores transmitem ondas de energia sonora em uma freqüência entre 25 a 50 KHz, acima da faixa audível humana. A maioria dos sensores ultrassônicos opera com pulsos de ondas sonoras e permitem fazer a contagem volumétrica e obter informação de presença e ocupação de veículos. Os sensores medem a distância da energia emitida pela superfície do solo e pela superfície dos veículos. Quando há uma variação na energia emitida pelo solo, o sistema considera tal variação como um veículo. As vantagens do uso dos sensores ultrassônicos são: poder detectar múltiplas pistas e não requerer um procedimento intrusivo. Como desvantagem, as mudanças de temperatura e ventos muito fortes, que podem afetar o desempenho de sensores ultrassônicos (a compensação de temperatura é realizada em alguns modelos). Outro fator são períodos com muitas repetições de pulsos que podem degradar a medição da quantidade de veículos, principalmente em estradas onde os veículos trafegam em alta velocidade.

Figura 8: Sensores ultrassônicos

Fonte: Google *images,*2016

1.4.1.2.5. Sensores de Vetor de Acústica Passiva

Os sensores acústicos são utilizados para a identificação da presença, velocidade e contagem de veículos. Esses sensores atuam através da detecção de energia acústica ou sons audíveis produzidos pelo tráfego de veículos. Quando um veículo passa pela zona de detecção, nota-se um aumento na energia do som, o qual é reconhecido por algoritmos para processamento de sinal. Então a presença do veículo é transmitida ao sistema. Quando o veículo sai da zona de detecção, o valor do nível de energia do som gerado cai abaixo de um

limiar definido, e o sinal de presença do veículo é encerrado. As vantagens encontradas no uso desse tipo de sensor são semelhantes às vantagens dos sensores ultrassônicos, uma vez que sua instalação não depende da penetração da camada asfáltica e pode ser instalado para coletar informações de múltiplas pistas. Há relatos que baixas temperaturas afetam a precisão dos sensores acústicos. Além disso, diversos modelos não mostram bons resultados em congestionamentos, no qual o trânsito se apresenta lento. (FEITOSA, 2012)

1.4.2. Contagens pontuais ou locais

As contagens podem ser pontuais ou locais e são realizadas em locais específicos da via. Geralmente são utilizadas para projetos viários, análise de capacidade, análise de operação ou dimensionamento de semáforos. Tem como função levantar dados por direção e/ou classificação e o tempo de duração, que pode ser: automática, durando de um dia a uma semana; manual, com duração de algumas horas; e classificada, que dura de dez a quinze minutos. As contagens podem ser realizadas em interseções ou entre interseções.

As contagens em interseções são realizadas visando à obtenção de dados necessários à elaboração de seus fluxogramas de tráfego, projetos de canalização, identificação dos movimentos permitidos, cálculos de capacidade e análise de acidentes. Tem como principal característica o fato de que normalmente são utilizadas contagens manuais. São contados os volumes que entram na interseção,os volumes por movimento (direto ou de conversão) e por tipo de veículo. Devem ser divididas em intervalos de 15 minutos, para determinar as variações dentro da hora de pico.(GOLDNER, 2009)

Nas interseções semaforizadas, tem sido utilizado um procedimento especial que consiste na não ocorrência simultânea dos movimentos, ou seja, acontecem por fase. O tempo de ciclo e a divisão de tempo nas fases de verde são anotados e os períodos de contagens divididos em intervalos de tempo múltiplos do tempo de ciclo.

Segundo Goldner (2009), as contagens entre interseções normalmente utilizam as contagens automatizadas. Para determinação do volume total pode ser utilizado um contador (desde que capture todas as faixas), maspara determinação do volume por direção, é necessário mais de um contador, com sensores para cada direção. As contagens manuais curtas são utilizadas para estimar a proporção dos diversos tipos de veículos (classificada).

2. OUTLIERS SOB A ÓTICA DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS

Outliers são observações que apresentam afastamento dos demais e podem ser considerados inconsistentes, mas quando não são assim considerados, por exemplo, nas CVV, influenciam o valor médio e conduzem a altos coeficientes de variação. Estes valores são muito comuns em distribuições de probabilidade e são também chamados de observações "anormais", contaminantes, estranhas, extremas ou aberrantes. Métodos de detecção de *outliers* têm sido pesquisados por técnicas estatísticas e uma das razões sobre as dificuldades de identificá-los recai na definição precisa e a noção de quantificá-los (XUE; SHANG; FENG, 2010).

Segundo os pesquisadores Barnett e Lewis (1994), observações feitas porBernoulli e Allen (1961) narram que a prática de descartar as observações consideradas inconsistentes seria rejeitada, mas é conveniente ter conhecimento das causas que levam ao seu aparecimento e as razões da sua existência podem determinar a forma como devem ser tratadas.

Barnett e Lewis (1994) comentam que,no processo de amostragem, os *outliers* podem surgir em função dos erros de medição na coleta dos dados, da digitação ou quando o conjunto de dados apresenta uma variabilidade expressiva.

A identificação de *outliers* nas CVV em vias urbanas é extremamente importante, pois não se pode prescindir destes valores, pois fazem parte da estrutura de sazonalidade inerente ao fluxo de veículos. Nem todos os *outliers* devem ser considerados como advindos de erros grosseiros. Em alguns casos, estas medições podem contêm informações importantes para o conjunto de dados.

O estudo de *outliers*, independentemente de suas causas, consiste na detecção com métodos quantitativos, cuja identificação é feita por análise gráfica ou métodos inferenciais. As observações consideradas como *outliers* devem ser tratadas cuidadosamente, pois contêm informação relevante sobre as características subjacentes aos dados e poderão ser decisivas tanto na distribuição da frequência populacional quanto na estrutura de séries temporais.

Pretende-se saber se as observações identificadas como *outliers* potenciais devem ser considerados *outliers* e as observações suspeitas são testadas quanto à discordância pela aplicação de um critério estatístico objetivo, gráficos e procedimentos inferenciais.

Os *outliers* podem ser identificados por diversos métodos e nesta abordagem não são excluídas as observações atípicas.

2.1. Gráfico de Caixa

O gráfico de caixa (ou *boxplot*) é utilizado para avaliar a distribuição empírica dos dados, sendo formado pela mediana, tendo hastes inferiores e superiores que se estendem, e correspondem do primeiro quartil (Q1) até o menor valor que não é um *outlier* e do terceiro quartil até o maior calor que não é um *outlier*, respectivamente. (BUSSAB; MORETTIN, 2009), tendo os limites são calculados pelas formas:

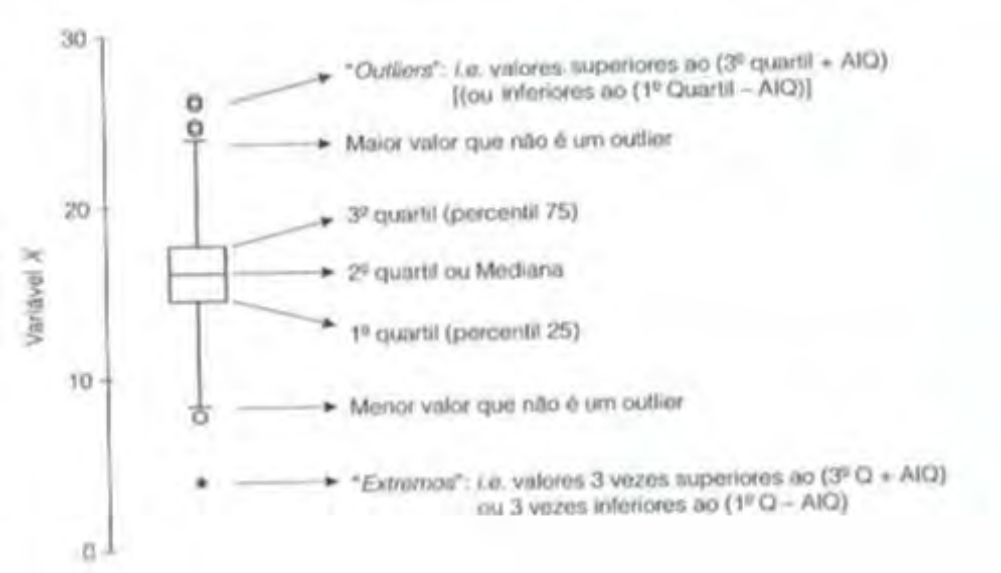
Limite inferior: Q_1- AIQ .

Limite superior: Q3 + AIQ

onde, AIQ = $1{,}5(Q_3 - Q_1)$.

Os valores abaixo do limite inferior ou acima do limite superior são considerados *outliers* e devem ser investigadas as origens destas dispersões.

Figura 9 - Gráfico de caixa



Fonte: Adaptado de Marôco, 2003.

2.2. Modelos de discordância

O modelo de discordância considera que, se no conjunto de dados existem observações discrepantes, estas têm uma distribuição diferente das observações restantes ou tem distribuições na mesma família, mas com parâmetros distintos (FIGUEIRA, 1998). Neste modelo é considerada como hipótese nula $H_{0:}$ não há*outliers.*

Para decidir pela aceitação ou rejeição da hipótese nula, é necessário utilizar testes de discordância que tenham distribuição conhecida ou valores críticos tabelados.

2.3. Teste de Dixon

O teste de Dixon, baseado nos valores extremos, é usado mais comumente na detecção de pequenas quantidades de *outliers,* sendorecomendado entre 3 e 25 observações. A hipótese nula H_0 corresponde a não existência de *outliers*. A decisão é obtida por uma estatística teste gerada pela razão $\mathbf{r = Q_m/Q_M}$, à qual é atribuída a distribuição de probabilidade Normal Padrão. A aplicação do teste segue três passos:

1º passo: Os dados devem ser ordenados de forma crescente, sendo o menor valor, o de ordem 1 e o de maior valor, o de ordem N.

2º passo: Designa-se Z como o valor numérico da enésima observação, ou seja, Z(1) é o menor valor numérico e Z(N), o de maior valor numérico, Z(N-1) é o valor da penúltima observação ordenada de forma crescente. Ao se proceder, Q_M e Q_m são os valores suspeitos à designação de *outlier*.

3º passo: O cálculo é realizado para 3 situações, como pode ser visto no Quadro 1.

Quadro 1 - Teste de Dixon

Entre 3 e 7 observações	**Entre 8 e 12 observações**	**Entre 13 e 25 observações**
Q_M = [Z(N)-Z(N-1)]/[Z(N)-Z(1)]	Q_M = [Z(N)-Z(N-1)]/[Z(N)-Z(2)]	Q_M = [Z(N)-Z(N-1)]/[Z(N)-Z(3)]
Q_m = [Z(2)-Z(1)]/[Z(N)-Z(1)]	Q_m = [Z(2)-Z(1)]/[Z(N-1)-Z(1)]	Q_m = [Z(3)-Z(1)]/[Z(N)-Z(1)]

Fonte: ANDRIOTTI, 2005.

Para testar a existência de outros *outliers*, repete-se o teste, mas o poder deste teste diminui à medida que o número de repetições do mesmo aumenta. (FALLON; SPADA, 1997)

Havendo mais de 25 observações, o teste não está definido, e portanto deve-se buscar outro teste. Existe uma tabela que apresenta os valores críticos do teste de Dixon para valores críticos unicaudais ($\alpha = 0{,}10$; $\alpha = 0{,}05$; $\alpha = 0{,}01$).Para o caso bicaudal deve-se usar os mesmos valores críticos, mas duplicando as probabilidades nos cabeçalhos das colunas. Esta tabela é válida ao se aplicar o teste de Dixon para conjuntos de dados que se ajustem a distribuição normal.

2.4. Teste de Grubbs

O teste de Grubbs testa a hipótese nula H_0: a observação (x_i) é considerada valor extremo. A estatística teste Z é obtida segundo:

$$Z = \frac{|x_i - \bar{x}|}{s} \quad (1)$$

em que $\bar{x}$ é a média amostral e sé o desvio padrão amostral.Rejeita-se H_0, com nível de significância α, se Z_{calc}>$Z_c$segundo a Tabela 1.

Tabela 1 - Valores críticos (Z_c) para 5% de significância no teste de Grubbs

n	5% de Significância
3	1,15
4	1,48
5	1,71
6	1,89
7	2,02
8	2,13
9	2,21
10	2,29
11	2,36
12	2,41
13	2,46
14	2,51
15	2,55
16	2,59
17	2,62
18	2,65
19	2,68
20	2,71

2.5. Z-escores

O método consiste em calcular os z-escores, isto é, os valores padronizadosdos dados. Se o conjunto dos dados é pequeno (inferior a 50), valores que tenham escores inferiores a -2,5 ou superiores a 2,5 devem ser considerados*outliers*.Caso o conjunto dos dados seja grande, valores que tenham z-escores inferiores a -3,3 ou superiores a 3,3 são tipicamente considerados *outliers*.Se o conjunto dos dados é muito grande (1000 ou mais), valores

maiores ou menores do que ±3.3, que em amostras menores são extremos, podem ser considerados dados normais e não*outliers*.

3. LÓGICA FUZZY

3.1. Princípios da Lógica Fuzzy

A lógica fuzzy, também conhecida como lógica nebulosa, lógica difusa, ou aindacomo teoria das possibilidades, tem como base a Teoria dos Conjuntos Fuzzy (TCF), uma generalização da teoria clássica dos conjuntos, introduzida pelo Professor Zadeh em seu artigo "Fuzzy Sets", publicado no ano de 1965.Trata-se de um tipo de lógica multivalente (KANDEL, 1986). Este conceito contrapõe-seao da lógica clássica, bivalente,Princípio do Meio Excluído de Aristóteles, segundo a qual umadeterminada proposição somente pode assumir os valores: Verdadeiro ou Falso,representados pelos números 1 e 0, respectivamente. Exclui-se definitivamentequalquer possibilidade de ocorrerem valores intermediários. (BOYER, 1996). Nesta ótica estão os conjuntos rígidos(*crisp*), que somente incluem os valores extremos de pertinência {0, 1},não admitindo valores de pertinência na interseção de dois conjuntos clássicos.

3.1.1. Conjuntos Fuzzy (CF)

Segundo Kandel (1986), a TCF apresenta maior campo de aplicabilidade na solução de problemas que envolvam algum grau de avaliação subjetiva.

> "Em um conjunto nebuloso, o grau de pertinência associado a cada elemento define o quanto cada objeto do universo do discurso satisfaz a propriedade associada ao conjunto. " (SOUTO-MAIOR; MURCIA; BORBA, 2006)

Cabe ressaltar o confronto entre Conjuntos Clássicos (CC) e Conjuntos Fuzzy (CF), expostos no Quadro 2.

Quadro2 - Conjuntos Clássicos x Conjuntos Fuzzy

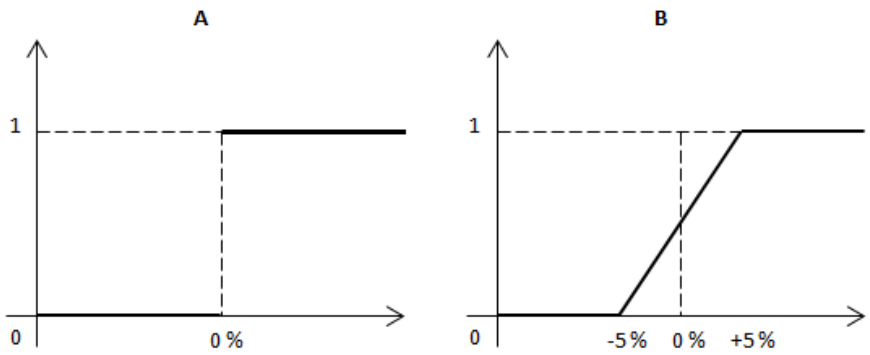
CC – Lógica Binária	CF – Lógica Fuzzy
Limites precisos	Limites imprecisos
Transição brusca (pertencer/não pertencer)	Transição gradual (pertencer/não pertencer)
Conceitos bem definidos	Conceitos vagos e imprecisos

Fonte: SOUTO-MAIOR; MURCIA; BORBA, 2006.

Um CF pode ser representado por um par ordenado, onde o primeiro termo do par é o próprio elemento do conjunto (x), e o segundo termo é a pertinência ($\mu(x)$), que assume valores no intervalo fechado entre 0 e 1. O confronto entre A e B, Figura 10, mostra um conjunto clássico (CC) e um CF. No CC, o valor da pertinência assume 0 a esquerda do suporte 0%, enquanto a pertinência é igual a 1, à sua direita. No CF,tomando como exemplo a

pertinência para o suporte entre [-5%,+5%], assume uma tendência linear crescente, com pertinências variando no intervalo entre 0 e1.

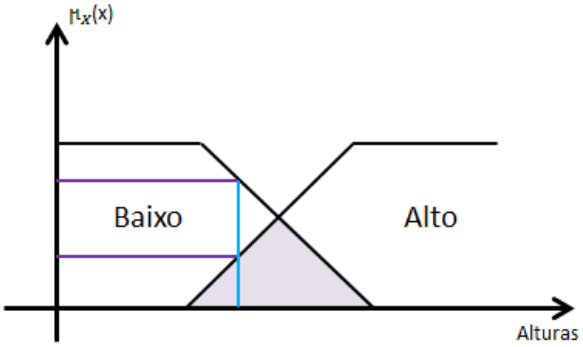
Figura 10 - Conjuntos Clássicos x Conjuntos Nebulosos



Fonte: Autora, 2016.

Quando há interseção entre dois conjuntos categorizados (alto e baixo), torna-se difícil determinar o quanto um elemento pertence ou não a estes conjuntos. Se o suporte contém os valores de alturas, um indivíduo poderia ser classificado em ambas categorias. Nesta interseção, toma-se a pertinência menor, logo o indivíduo pode ser classificado como alto com pertinência baixa, Figura 11.

Figura 11 - Interseção de categorias



Fonte: Autora, 2016.

3.1.2. Universo de Discurso (UD)

Todo CF está contido em determinado universo, o qual corresponde a um subconjunto de seu Universo de Discurso (UD), que consiste do conjunto de valores finitos que contém todos os valores possíveis contidos em seus subconjuntos fuzzy. (SHAW; SIMÕES, 1999). Os valores na vizinhança de zero podem ser considerados como dois CF:Conjunto dos Números Reais, aquém e além do marco zero.

Uma variável linguística é um conjunto de termos linguísticos (nomes ou rótulos) representados por CF's, dentro de um determinado universo de discurso. A LF prevê o uso destas variáveis, de forma que sejam usadas como símbolos mais adequados à formulação de proposições naturais em comparação com valores numéricos (SHAW; SIMÕES, 1999).

Segundo Zimmermann,

> "Toda lógica tradicional habitualmente supõe que símbolos precisos estão sendo empregados. Isto consequentemente não é aplicável a esta vida terrestre, mas somente a uma existência celestial imaginada" (ZIMMERMANN, 1985).

Zimmermann (1985) aindacitaZadehque propôs o uso de variáveis cujos valores do domínio não são números, mas sim palavras ou frases em uma linguagem natural ou artificial. Zadeh caracterizou uma variável lingüística X da seguinte forma: X é caracterizada pela quíntupla (x, T(x), U, G, ~μ(x)), onde x é o nome da variável e T(x) é o conjunto de termos linguísticos que a compõem. Ou seja, o conjunto dos nomes dos valores lingüísticos de x, com cada um desses itens sendo um CF, variando dentro de um UD U. O símbolo G representa a regra sintática que gera os nomes que compõem a variável. E ~μ(x) é a função de pertinência que representa o termo linguístico x.

3.1.3. Números Fuzzy(NF)

TERANÕ; ASAI; SUGENO, (1992) designaram a representação de um Número Fuzzy (NF) como N = (α, c), onde α é o número real que coincide com o valor central em N. A constante *c*é a distância entre α e os pontos da Reta dos Números Reais. A função de pertinência pode ser escrita da seguinte maneira:

$$\mu_{N(x)} = L((x - \alpha)/c), \text{ sendo } c>0 \quad (2)$$

sendo c>0. A função L(x) é chamada de função de referência, e possui as seguintes características que a descrevem:

1) L(x) = L(-x), ou seja, L(x) é linear

2) L(0) = 1

3) L(x) é decrescente no intervalo [0, ∞[.

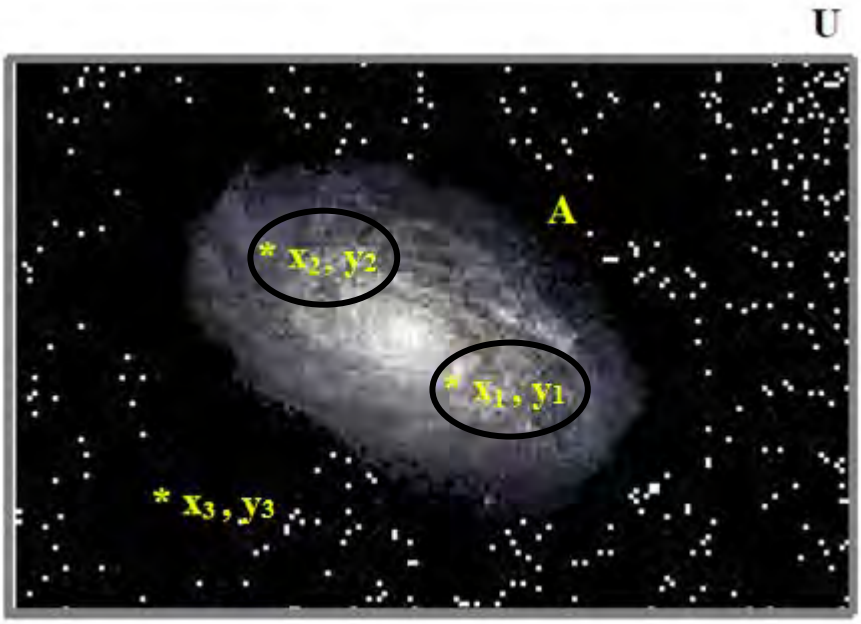
3.2. Princípio de Extensão de Zadeh(PE)

Os métodos de fuzificação propostos anteriormente, lógica fuzzy clássica, são úteis para fuzzificar e obter CF, mas segundo Tsoukalas e Uhrig (1997), o PE é uma ferramenta matemática para fuzzificar, sendo importante no uso de diversas áreas do conhecimento.

> "O Princípio de extensão de Zadeh é o conceito básico da teoria de lógica fuzzy que sustenta a extensão das expressões matemáticas do domínio clássico ao domínio fuzzy. Essa ferramenta permite calcular a imagem de um número fuzzy por meio de uma função conhecida." (MELO, 2009)

Na Figura 12, observa-se que os pares ordenados(x_1,y_1) e (x_2,y_2) estão dentro da elipse A, definida em um espaço bidimensional e, consequentemente, apresenta pertinência conjunta e as pertinências marginais referentes aos eixos cartesianos, medidas que podem ser obtidas em função de modelos matemáticos e inferenciais qualiquantitativo.

Figura 12 - Representação do conjunto Fuzzy por diagramas



Fonte: SOUSA, 2005.

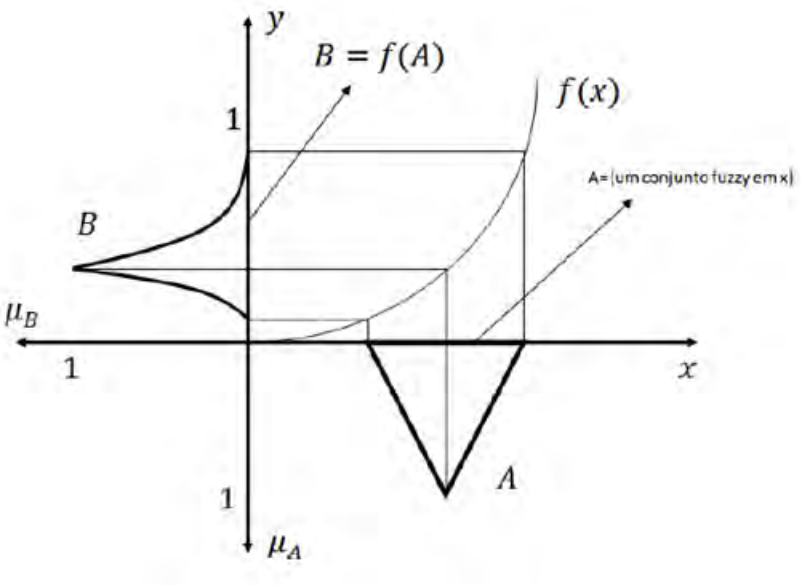
Jafelice (2004) define o princípio de extensão da seguinte forma:

> "O grau de pertinência de um valor do contradomínio é definido diretamente pelo grau de pertinências de sua pré-imagem".
> Quando um valor do contradomínio é mapeado por vários do domínio, o seu grau de pertinência é obtido pelo valor máximo dos graus de pertinência dos valores da entrada." (Jafelice, 2004)

Formalmente, sejam*X* e *Y*conjuntosfuzzy e uma aplicação de *X* em *f: X → Y*. O PE afirma que a imagem de um CF*A*em *X*pela função *f* é um CF*B = f(A)* em *Y*(Figura 13) cuja função de pertinência é dada por

$$\mu_B(y) = max_{\{x:f(x)=y\}}\mu_A(x)$$

Figura 13 - Imagem de um subconjunto *fuzzyA*a partir do princípio de extensão para uma função *f* estritamente crescente.



Fonte:MELO, 2009.

3.3. Sistemas Fuzzy (SF)

Dois principais entraves na modelagem matemática clássica, baseada na lógica bivalente, surgemquando ZIMMERMANN (1985) afirma que:

> 1 – Situações reais muito frequentemente não são determinísticas e não podem ser precisamente descritas.
> 2 – A descrição completa de um sistema real frequentemente requereria mais dados detalhados do que os que um ser humano poderia sempre reconhecer simultaneamente, processar e entender. (ZIMMERMANN, 1985)

Nesta assertiva, fica clara a forma como o ser humano realiza inferências, por meiode regras de raciocínio e atribuição de valores às variáveis, embora dotados de incertezas.Estas regras de raciocino, presentes na comunicação humana, são consideradasválidas para a LF.

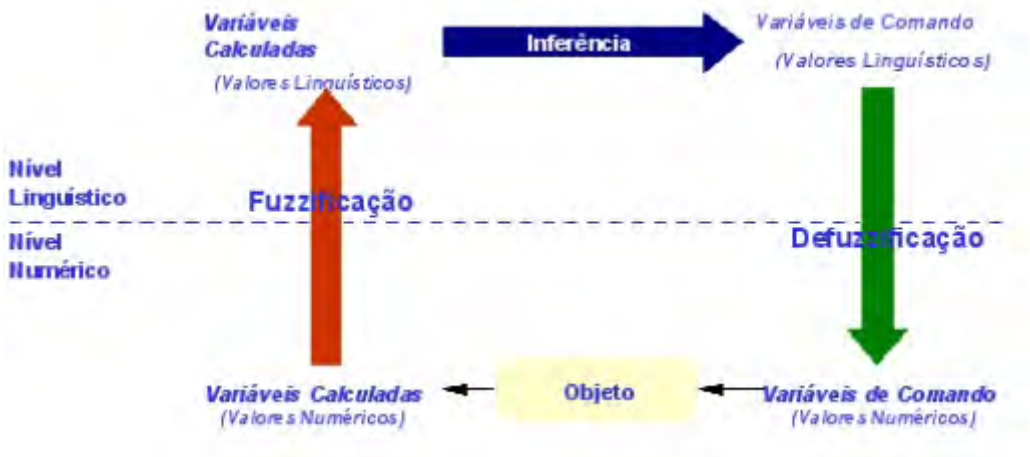
Shaw e Simões (1999) afirmam:

> Provavelmente essa habilidade humana desenvolveu-se através das gerações, já que o fato de se trocar precisão por velocidade é decisivo para a sobrevivência biológica em situações críticas, ou de perigos naturais. (SHAW, SIMÕES, 1999)

A LF busca modelos capazes de representar a percepção darealidade como um facilitador de inferências e tomadas dedecisões, contrapondo a criação de modelos que impõem restrições, na grande maioria, lineares. Tem êxito em sistemas complexos de controle de processos e decisões, sobremaneira, contemporaneamente no controle de semáforos.Diversos estudos vêm sendo devolvidos nessa área e apresentam resultados promissores. Os mais recentes realizados na estrutura de controladores semafóricos fuzzy buscaram avaliar os elementos que os compõem e seus impactos no desenvolvimento de tráfego (ANDRADE; JACQUES; LADEIRA, 2011).

Esses controladores de processos e decisões são chamados de Sistemas Fuzzy (SF), que são compostos por três processos: fuzzyficação, inferência e defuzzyficação. A Figura 14 ilustra o esquema utilizado em um sistema fuzzy (JUNGES, 2006).

Figura 14 - Esquema lógico de um sistema fuzzy



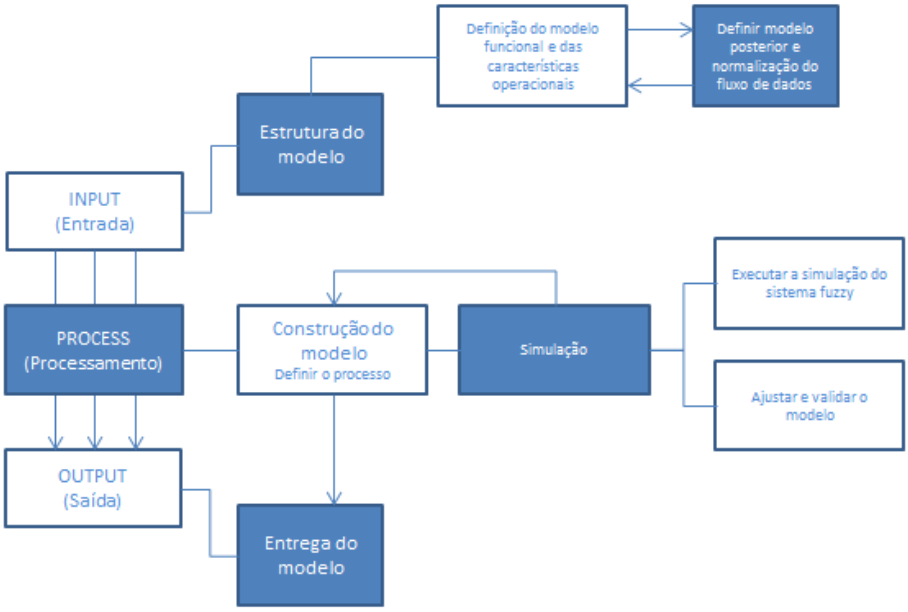
Fonte: JUNGES, 2006.

Segundo Cox (1998), o desenvolvimento de um SF apresenta-se pouco estruturado para modelagem de um SF, mas deve ser visto como um direcionamento.O primeiro passo na concepção deste sistema segue as técnicas de análise utilizadas pelos analistas de sistemas inteligentes. A primeira etapa é definir quais informações que podem compor o sistema. A

segunda etapa corresponde às transformações básicas ou fundamentais que podem ser realizadas sobre o tratamento dos dados, o que conduz a facilitar a operacionalidade para alcançar os resultados. A última etapa, a saída do sistema.

A Figura 15 representa um diagrama esquemático de um processo para viabilizar uma medida locacional fuzzy.

Figura 15 - Arquitetura, metodologia de desenvolvimento e dinâmica de um sistema fuzzy



Fonte: Adaptado deCOX, 1998.

Os modelos fuzzy trabalham “de fora para dentro”, isto é, dado um comportamento do sistema, é preciso simular áreas que possam ser consideradas difusas, dependendo da natureza e complexidade do sistema global.Pode ser mais apropriado localizar o componente fuzzy antes de abordar os detalhes de entrada e de saída. (COX, 1998)

4. METODOLOGIA

4.1. Algoritmo de Média Fuzzy (FNM)

Segundo Zarbu e Pop (2000), o algoritmo de média Fuzzy (*Fuzzy n-meansalgorithm* – FNM) é um procedimento de agrupamento de nível, técnica quesupõe o número real de classesno conjunto de dados conhecido.

Em geral, um algoritmo de agrupamento Fuzzy com função objetivo pode ser estruturado da seguinte forma: seja $X = (x^1,...,x^p)$ com $x^i \in R^s \; \forall \; i = 1, \dots, p$um conjunto finito de vetores característicos, onde *p* é o número de medidas e *s* é a dimensão das variáveis de entrada, $x_k^j = [x_1^j, x_2^j, ..., x_s^j]^T$ e $L = (L^1, L^2, ..., L^n)$ é um n-ésimo protótipo (suportes) em que cada um caracteriza um dos n conjuntos A_1, ..., A_n que formam uma partição de *X* em *n*CF's, a qual será feita por meio da minimização da função objetivo

$$J(P,L) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{p} (A_i(x^j))^2 d^2(x^j, L^i), \tag{3}$$

onde P={A_1, ..., A_n} é a partição fuzzy, $A_i(x^j) \epsilon$ [0,1] representa o grau de pertinência do ponto x^jdo conjunto A_i, d(x^j, L^i) é a distância de um ponto característico *x* ao conjunto A_i, definido pela norma euclidiana de distância.

$$d(x^j, L^i) = \left\| x^i - L^i \right\| = \left[\sum_{k=1}^{s} (x_k^j - L_k^i)^2 \right]^{1/2} \tag{4}$$

Uma vez que os elementos do conjunto têm *s* coordenadas para descrever sua localização no espaço, cada centróide do conjunto (L_i) também exige recursos de determinar a sua localização no mesmo espaço.

Se L^i provém dos valores de *X,* podemos supor que L^item a maior pertinência A_i, isto é,

$$A_i(L^i) = \max_{x \in X} A_i(x) \tag{5}$$

O CF será implementado por um método iterativo em que *J* é sucessivamente minimizado com relação à pertinência A e a medida locacional *L*.

Supondo que *L* é dado, o mínimo da função *J(•,L)* é obtida por

$$A_i(x^j) = \frac{1}{\sum_{k=1}^{n} d^2(x^j, L^i) / d^2(x^j, L^k)}, i=1, 2, ...n. \quad (6)$$

Para um dado *P*, o valor mínimo da função *J (P, •)* é obtido para:

$$L^i = \frac{\sum_{j=1}^{p} [A_i(x^j)]^2 x^j}{\sum_{j=1}^{p} [A_i(x^j)]^2}, \; i = 1, 2, ..., n. \quad (7)$$

A fórmula anterior permite calcular cada um dos componentes de L^i (a média do conjunto i). Elementos com um elevado grau de participação no conjunto *i* contribuem significativamente para essa média, enquanto os elementos com um baixo grau de pertinência contribuirão menos.

Uma classe pode ter formas diferentes de acordo com a escolha dos protótipos. O cálculo dos valores de adesão depende da definição da medida de distância. De acordo com a seleção dos protótipos e da definição da medida de distância, diferentes algoritmos de agrupamento fuzzy são viáveis.

Para obter a função critério, no caso de uma única classe, determinar-se uma partição fuzzy $\{A, \bar{A}\}$; o conjunto *A*e seu complementar $\bar{A}$, o par é caracterizado pelo protótipo ponto.

Em relação ao conjunto complementar fuzzy ($\bar{A}$), considera-se que a discrepância entre o seu protótipo hipotético e o ponto x^j é constante e igual a α/ (1-α), onde α é uma constante a partir de [0,1]. Como consequência, a função critério torna-se

$$J(A, L; \alpha) = \sum_{j=1}^{p} [A(x^j)]^2 d^2(x^j, L) + \sum_{j=1}^{p} [\bar{A}(x^j)]^2 \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad (8)$$

O protótipo L que minimiza a função J (A, L; α) é dada por

$$L = \frac{\sum_{j=1}^{p} [A(x^j)]^2 x^j}{\sum_{j=1}^{p} [A(x^j)]^2}, \quad (9)$$

onde

$$A(x^j) = \frac{\alpha/(1-\alpha)}{[\alpha/(1-\alpha)] + d^2(x^j, L)}, \quad (10)$$

com α representando o grau de pertinência do ponto mais distante (*outlier* mais expressivo) do protótipo *L*. *L* é o centro de massa da classe fuzzy A e, neste caso, pode ser designado média fuzzy. O CF é construído por um método iterativo, em que *J* é sucessivamente minimizado com relação a *A* e *L*.

Este procedimento é também chamado algoritmo fuzzy da média (FNM) e a sua aplicação segue os seguintes passos:

1. Cálculo da Distância Euclidiana conforme expressão (4).
2. Cálculo das Pertinências segundo expressão (5).
3. Cálculo da Média Ponderada pelas pertinências, expressão. (6)
4. Avaliação das pertinências subsequentes, expressão. (10)
5. Função critério, expressão. (8)
6. Nova Média Ponderada Fuzzy, expressão (9)

4.2. Algoritmo generalizado de média fuzzy (GFNM)

O GFNM é outro procedimento de agrupamento de nível que pode ser usado para detectar conjuntos esféricos ou elipsoidais. A forma dos conjuntos detectados por este processo é influenciada pela matriz de covariância M. Se M é unitária, as classes detectadas tendem a ser de forma esférica. Se M ≠ I, as classes detectadas serão elipsoides, que podem ser mais ou menos alongados, dependendo da forma de matriz de covariância, que impõe a geometria dos CF.

A obtenção da função objetivo reporta-se a Rouvray (1997), que indica uma Distância Adaptativa que pode ser estimada por raio ou diâmetro de cada classe fuzzy$A_i(x^j)$. O diâmetro (δ_i) deve ser obtido por:

$$\delta_i = maxmin_{x_j,y_j}\left[\frac{A_i(x_j),A_i(y^j)}{d(x^j,y^j)}\right], \tag{11}$$

onde a distância de um ponto ao seu centroide corresponde a Distância de Mahalanobis, $d(x^j,L^i)$, baseada na matriz de covariâncias M das variáveis dos grupos com vetor de média L^i.

$$d\left(x^j, L^i\right) = \left(x^j - L^i\right)^T M_i(x^j - L^i) \tag{12}$$

O diâmetro estimado da classe adaptativa em relação à classe $A_i(x^j)$é obtido pela expressão

$$d_{i^a}(x^j, y^j) = \frac{d_i(x^j, y^j)}{\delta_i} \tag{13}$$

O diâmetro da classe A_i em relação a distância é

$$\delta_{i^a} = max_{x^j, y^j \in X} d_{i^a}(x^j, y^j) = 1 \tag{14}$$

A dissimilaridade é o quadrado da Distância Adaptativa:

$$D_i(x^j, L^i) = d_{i^a}^2(x^j, L^i) = \left[\frac{d_i(x^j, y^j)}{\delta_i}\right]^2 = \frac{A_i{}^2(x_j) d^2(x^j, L^i)}{\delta_i{}^2} \tag{15}$$

A função critério é definida pela expressão

$$J(P, L) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{p} (A_i(x^j))^2 d^2(x^j, L^i), \tag{16}$$

que conduz ao grau de pertinência pela equação

$$A_i(x^j) = \sum_{k=1}^{n} \frac{d_a^2(x^j, L^i)}{d_a^2(x^j, L^k)}, i \in \{1, \dots, n\} ej \in \{1, \dots, k\}, \tag{17}$$

onde $A_i(x^j) \epsilon$ [0,1], e representa o grau de pertinência do ponto x^jdo conjunto A_i. O uso da Distância Adaptativa requer a substituição da Distância de Mahalanobis pela estimativa da Distância Adaptativa na expressão do grau de pertinência.

Supõe-se que as classes possam ter configurações elipsoidais (esféricas). A média de uma classe fuzzy pode ser considerada como uma aproximação do centro geométrico da classe, assim o raio da classe fuzzy A_i toma a feição

$$r_i = max_{x \epsilon X} d_i(x, L^i) = max_x A_i(x) d_i(x, L^i) \tag{18}$$

Os graus de pertinência são computados usando a Distancia Adaptativa

$$d'_a(x^j, L^i) = \frac{d(x^j, L^i)}{r_i} \tag{19}$$

No conjunto linear, observa-se que cada classe fuzzyA_ié representada por um elipsoide que passa por [X_1, X_2, ..., X_p] com direção [β_1, β_2, ..., β_p]. Se L^i é um protótipo linear de A_i, a

relação entre a partição fuzzy P = (A_1, ... A_n) e a representação L = (L^1, ..., L^n) conduz a função critério

$$J(P,L) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{P} A_i^2(x^j)d^2(x^j,L^i) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{P} A_i^2(x^j)\left[\|x^j - v^i\|^2 - \|x^j - \mu^i\|\right]^2 \quad (20)$$

Minimizando a função J (P, L), obtém-se para $A_i(x^j)$ a mesma expressão tal como para os pontos protótipos, e L^i será a média da classe fuzzy A. A direção u é o vetor característico que corresponde a maior raiz característica da matriz S_i, escrita como

$$S_i = M\left[\sum_{j=1}^{p} A_i^2(x^j)(x^j - m^i)(x^i - m^j)^T\right]M. \quad (21)$$

4.3. Diagrama de Atividades

Segundo Fowler (2005), diagramas de atividades são uma técnica para descrever a lógica de procedimento, processo de negócio e fluxo de trabalho. De várias formas, eles desempenham um papel semelhante aos fluxogramas, mostrando o fluxo de controle de uma atividade para outra e serão empregados para fazer a modelagem de aspectos dinâmicos do sistema. A principal diferença entre eles e a notação de fluxograma é que os diagramas suportam comportamento paralelo.

Na maior parte, isso envolve a modelagem das etapas sequenciais em um processo computacional. Enquanto os diagramas de interação dão ênfase ao fluxo de controle de um objeto para outro, os diagramas de atividades dão ênfase ao fluxo de controle de uma atividade para outra.

Os Diagramas de atividades são definidos pela Linguagem de Modelagem Unificada (UML), representam os fluxos conduzidos por processamentos e têm recebido modificações nas diversas versões da UML. É essencialmente um gráfico de fluxo, mostrando o fluxo de controle de uma atividade para outra. Comumente isso envolve a modelagem das etapas sequenciais em um processo computacional.

Eles permitem que o executor do processo determine a ordem em que as ações sejam realizadas. Isto é, determina as regras essenciais de sequência que se deve seguir. Isso é importante para a modelagem de negócios, pois os processos frequentemente ocorrem em paralelo. Os diagramas de atividade também são uteis para algoritmos concorrentes, nos quais linhas de execução independentes podem fazer coisas em paralelo. (FOWLER, 2005)

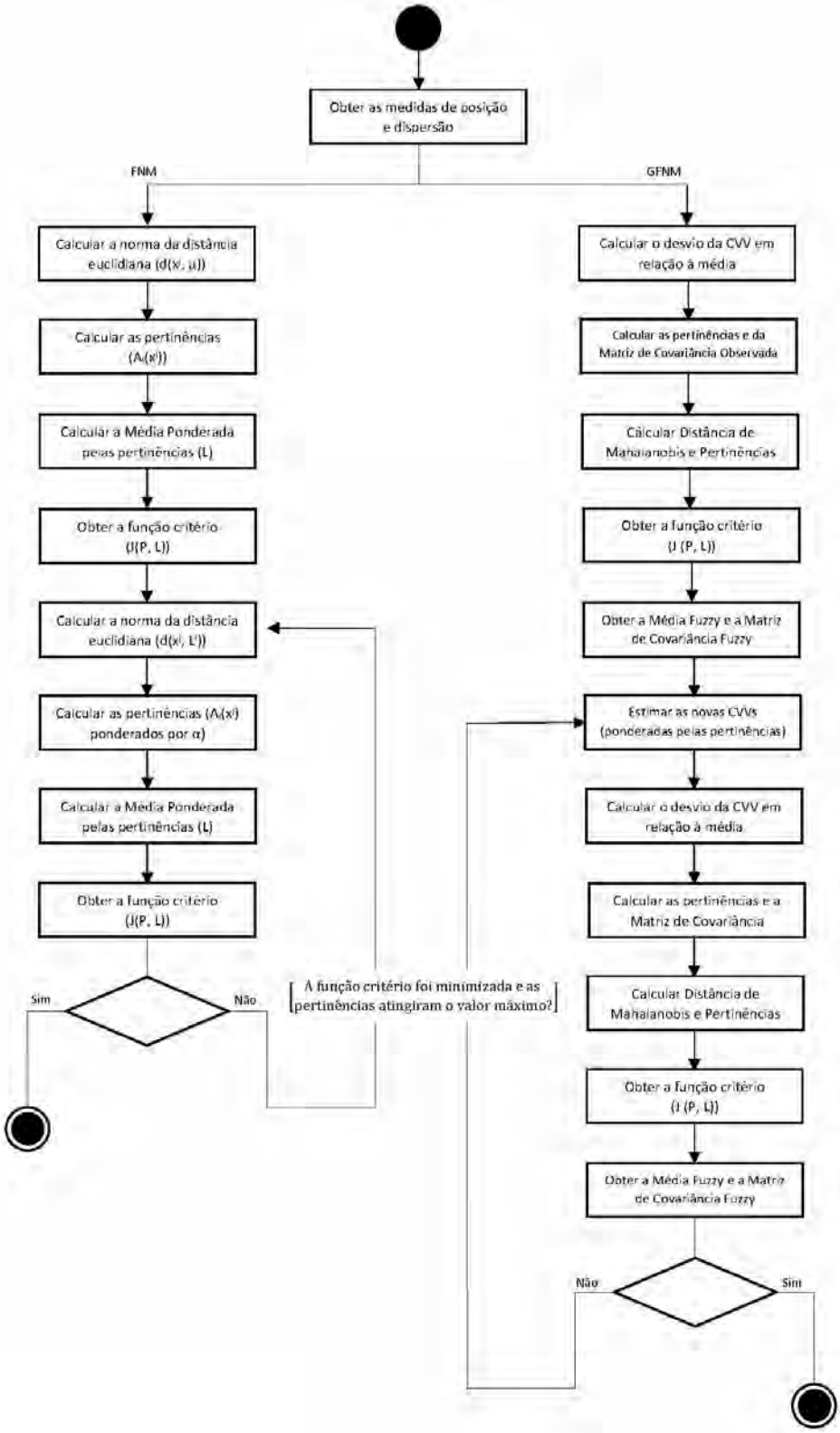
Segundo Booch, Rumbaugh e Jacobson (2006), os diagramas de atividade não são importantes somente para a modelagem de aspectos dinâmicos de um sistema

ouum fluxograma, mas também para a construção de sistemas executáveis por meio de engenharia de produção reversa.

Os nós em um diagrama de atividades são chamados de ações e não atividades. Uma atividade se refere a uma sequência de ações, portanto, o diagrama mostra uma atividade construída de ações. O comportamento condicional é delineado por decisões e intercalações. Uma decisão tem um único fluxo de entrada e vários fluxos de saída vigiados, associados a uma condição booleana colocada entre colchetes. Quando o usuário chega a uma decisão, é necessário selecionar apenas um dos fluxos de saída, impondo que a sentinelas sejam mutuamente exclusivas. (FOWLER, 2005)

O diagrama de atividades aplicado nestas metodologias é apresentado em seguida:

Figura 16 - Diagrama de Atividades



Fonte: Autora, 2016

5. APLICAÇÃO E RESULTADOS

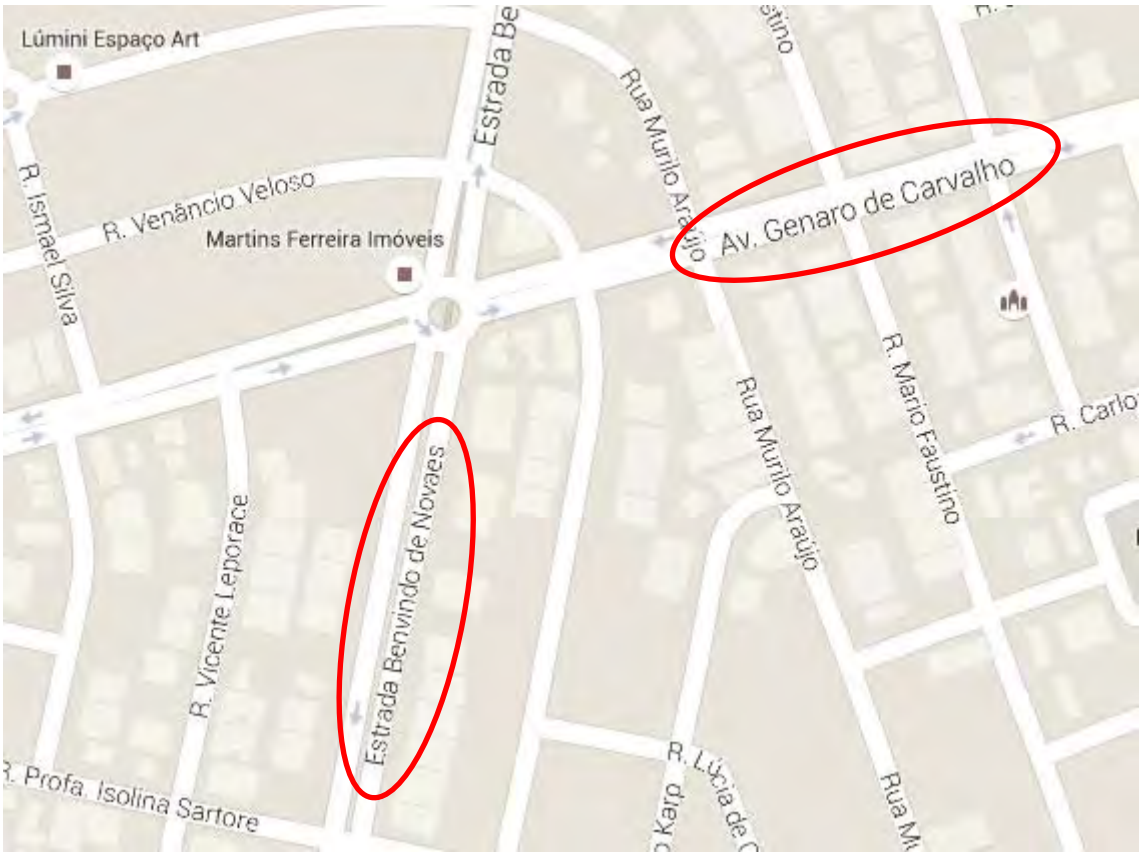
Os métodos propostos foram replicados para a contagem volumétrica de veículos (CVV) em intervalos horários de domingo, no dia 15 de setembro de 2013, para os seguintes trechos: Avenida Genaro de Carvalho, altura do número 2332, sentido Barra da Tijuca e sentido Recreio; e para o trecho da Estrada Benvindo de Moraes, paralela à Rua Caminho do Fontenela, sentido Avenida das Américas e sentido Estrada dos Bandeirantes, vias urbanas do bairro Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, caracterizada pela existência de uma rotatória no cruzamento. O domingo foi selecionado pois é o dia da semana em que não há ausência de dados em ambas as vias, mas também por ser um dia de afluxo de carros em função desta localidade ser uma região praiana.

Cabe ressaltar que os dados foram disponibilizados pela CET-Rio e até então foi comunicado que não existe uma equipe faça o tratamento gerencial, objetivando apenas a contagem volumétrica na via. Uma vez que o objetivo é obter uma média robusta para subsidiar o cálculo do tempo de ciclo do semáforo, impõem-se a busca por uma interseção entre duas vias. Observou-se que, apesar de algumas interseções possuírem fluxo mais expressivo, a contagem não está disponibilizada para as vias integrantes do cruzamento.

O banco de dados que disponibiliza a CVV não está geograficamente organizado, o que dificulta a obtenção dos dados para a aplicação do método, sendo assim foi necessário recorrer ao *Google Maps* para avaliar a posição geográfica e o sentido do fluxo.

O mapa permite visualizar a região urbana, objeto deste estudo, inclusive destacando os sentidos das vias, o que é importante em relação ao faseamento do semáforo e a permissão do direito de passagem, conforme ilustra a Figura 17.

Figura 17 - Trecho no qual o método foi aplicado



Fonte: *Google maps,* 2016

Na Tabela 2 encontra-se a contagem volumétrica de veículos a nível horário. Foram calculadas duas medidas de posição (média e mediana) e uma medida de dispersão (desvio padrão) para cada via. Observou-se que a média correspondeu aproximadamente a 241 veículos por hora em ambos os sentidos da Avenida Genaro de Carvalho, enquanto na Estrada Benvindo de Novais, a média atingiu 695 veículos por hora no sentido Avenida das Américas e 617 veículos por hora no sentido Estrada dos Bandeirantes. A mediana é extremamente importante no cálculo de estatísticas robustas, já que não sofre a influência dos valores extremos, tendo um ponto de ruptura de 50%: quando menos da metade dos dados pode ser considerada valores atípicos, a mediana não apresenta um resultado arbitrariamente grande. Neste conjunto de dados, a mediana assume os valores 255 e 236 para a Avenida Genaro de Carvalho, sentido Barra da Tijuca e sentido Recreio, respectivamente, e 665 e 566 para a Avenida Benvindo de Novaes, sentido Av. das Américas e sentido Estrada dos Bandeirantes, respectivamente.A variabilidade na primeira via, mostrou coeficiente de variação de 70,53% no sentido Barra da Tijuca e 58,63% no sentido Recreio dos Bandeirantes, o que pode levar a

uma percepção errônea quando se avalia apenas a medida locacional. Na Estrada Benvindo de Novaes, apesar das médias serem diferentes, os coeficientes de variação ficaram bem próximos, em torno de 56%, ambos indicando possíveis variações de fluxo durante os intervalos horários. Nesta dissertação, procura-se obter médias robustas sem expurgar valores atípicos inerentes a sazonalidade do fluxo de tráfego.

Tabela 2 - Contagem Volumétrica de Veículos a nível horário

Especificação	Av. Genaro de Carvalho		Est. Benvindo de Novais	
	Barra da Tijuca	Recreio	Av. das Américas	Estrada dos Bandeirantes
00:00-00:59	113	197	366	476
01:00-01:59	78	152	367	344
02:00-02:59	78	111	440	315
03:00-03:59	37	79	308	195
04:00-04:59	24	69	159	135
05:00-05:59	24	36	161	122
06:00-06:59	66	28	350	194
07:00-07:59	109	69	605	270
08:00-08:59	216	145	1049	343
09:00-09:59	375	217	1279	467
10:00-10:59	467	292	1282	555
11:00-11:59	499	367	1312	802
12:00-12:59	514	459	1126	898
13:00-13:59	494	440	1180	906
14:00-14:59	421	385	1113	1007
15:00-15:59	297	374	902	1054
16:00-16:59	330	354	816	1155
17:00-17:59	371	372	770	1168
18:00-18:59	372	435	793	1107
19:00-19:59	315	370	725	945
20:00-20:59	182	255	503	652
21:00-21:59	234	301	443	764
22:00-22:59	118	200	377	577
23:00-23:59	53	100	262	357
Média	241,125	241,958	695,333	617,000
Mediana	225	236	665	566
Desvio padrão	170,054	141,870	383,357	349,804
Coeficiente de variação (%)	70,53%	58,63%	55,13%	56,69%

Na aplicação do método foi utilizada a planilha Excel para obter as medidas estatísticas e o desenvolvimento do método. Ressalta-se que a opção do Excel é devida a utilização desta planilha no arquivo disponibilizado e o desenvolvimento de controle de tráfego na CET-Rio deve ser realizado por essa ferramenta.Afim de contribuir para o uso dessa ferramenta, o ideal é tornar os métodos propostos automatizadosvisando facilitar o cálculo dos tempos de ciclo e o faseamento dos semáforos, na gestão do trafego.

A observação do coeficiente de variação mostrou que a distribuição da CVV para intervalos horários do dia vão nos conduzir a uma média influenciada pelos valores extremos. A proposta do cálculo de medida locacional robusta fuzzy deverá minimizar esta variabilidade.

5.1. **Método FNM**

A aplicação do método proposto foi feita a partir do primeiro passo apresentado no final da metodologia, o cálculo da Distância Euclidiana de cada CVV em relação à média para cada via e sentido no intervalo horário. A partir da CVV horária para cada intervalo, calculou-se a norma da distância euclidiana, segundo a expressão (4), estando os valores disposto na Tabela 3.

Tabela 3 - Cálculo da Norma da Distância Euclidiana

Especificação	Distância da CVV em relação à média				Soma
	Av Genaro de Carvalho		Est. Benvindo de Novais		
	Barra da Tijuca	Recreio	Av. das Américas	Estrada dos Bandeirantes	
00:00-00:59	16.416,02	2.021,25	108.460,44	19.881,00	146.778,71
01:00-01:59	26.609,77	8.092,50	107.802,78	74.529,00	217.034,05
02:00-02:59	26.609,77	17.150,09	65.195,11	91.204,00	200.158,96
03:00-03:59	41.667,02	26.555,42	150.027,11	178.084,00	396.333,55
04:00-04:59	47.143,27	29.914,59	287.653,44	232.324,00	597.035,30
05:00-05:59	47.143,27	42.418,84	285.512,11	245.025,00	620.099,21
06:00-06:59	30.668,77	45.778,17	119.255,11	178.929,00	374.631,05
07:00-07:59	17.457,02	29.914,59	8.160,11	120.409,00	175.940,71
08:00-08:59	631,27	9.400,92	125.080,11	75.076,00	210.188,30
09:00-09:59	17.922,52	622,92	340.666,78	22.500,00	381.712,21
10:00-10:59	51.019,52	2.504,17	344.177,78	3.844,00	401.545,46
11:00-11:59	66.499,52	15.635,42	380.277,78	34.225,00	496.637,71
12:00-12:59	74.460,77	47.107,09	185.473,78	78.961,00	386.002,63
13:00-13:59	63.945,77	39.220,50	234.901,78	83.521,00	421.589,05
14:00-14:59	32.355,02	20.460,92	174.445,44	152.100,00	379.361,38
15:00-15:59	3.122,02	17.435,00	42.711,11	190.969,00	254.237,13
16:00-16:59	7.898,77	12.553,34	14.560,44	289.444,00	324.456,55
17:00-17:59	16.867,52	16.910,84	5.575,11	303.601,00	342.954,46
18:00-18:59	17.128,27	37.265,09	9.538,78	240.100,00	304.032,13
19:00-19:59	5.457,52	16.394,67	880,11	107.584,00	130.316,30
20:00-20:59	3.495,77	170,09	36.992,11	1.225,00	41.882,96
21:00-21:59	50,77	3.485,92	63.672,11	21.609,00	88.817,80
22:00-22:59	15.159,77	1.760,50	101.336,11	1.600,00	119.856,38
23:00-23:59	35.391,02	20.152,17	187.777,78	67.600,00	310.920,96
Norma da Distância Euclidiana					7.322.522,92

O prosseguimento das etapas do método permitiu obter o valor da pertinência para cada CVV horária para cada sentido de cada via e os resultados encontram-se na Tabela 4. Nesta etapa as pertinências apontaram os outliers, isto é, as CVVs mais distantes do valor médio (os picos horários de veículos, destacados tanto na Tabela 2 quanto na Tabela 4). Os valores extremos ocorreram no intervalo entre 12:00h às 12:59h para a Avenida Genaro de Carvalho, ambos os sentidos, enquanto para a Estrada Benvindo de Novais, no intervalo de 11:00 as 11:59h para o sentido Avenida das Américas e no intervalo de 17:00 as 17:59h para o sentido Estrada dos Bandeirantes.

Tabela 4 - Avaliação das Pertinências segundo a Contagem Volumétrica de veículos a nível horário para as vias urbanas

Especificação	Av Genaro de Carvalho		Est. Benvindo de Novais	
	Barra da Tijuca	Recreio	Av. das Américas	Estrada dos Bandeirantes
00:00-00:59	0,02468	0,00437	0,03209	0,00706
01:00-01:59	0,04001	0,01748	0,03189	0,02648
02:00-02:59	0,04001	0,03705	0,01929	0,03241
03:00-03:59	0,06265	0,05736	0,04438	0,06328
04:00-04:59	0,07088	0,06462	0,08510	0,08255
05:00-05:59	0,07088	0,09163	0,08447	0,08706
06:00-06:59	0,04611	0,09889	0,03528	0,06358
07:00-07:59	0,02625	0,06462	0,00241	0,04278
08:00-08:59	0,00095	0,02031	0,03700	0,02668
09:00-09:59	0,02695	0,00135	0,10079	0,00799
10:00-10:59	0,07671	0,00541	0,10182	0,00137
11:00-11:59	0,09998	0,03378	0,11250	0,01216
12:00-12:59	0,11195	0,10176	0,05487	0,02806
13:00-13:59	0,09614	0,08472	0,06949	0,02968
14:00-14:59	0,04865	0,04420	0,05161	0,05404
15:00-15:59	0,00469	0,03766	0,01264	0,06786
16:00-16:59	0,01188	0,02712	0,00431	0,10285
17:00-17:59	0,02536	0,03653	0,00165	0,10788
18:00-18:59	0,02575	0,08050	0,00282	0,08531
19:00-19:59	0,00821	0,03542	0,00026	0,03823
20:00-20:59	0,00526	0,00037	0,01094	0,00044
21:00-21:59	0,00008	0,00753	0,01884	0,00768
22:00-22:59	0,02279	0,00380	0,02998	0,00057
23:00-23:59	0,05321	0,04353	0,05555	0,02402
Pertinência máxima	0,11195	0,10176	0,11250	0,10788

Dando continuidade ao método, obtém-seo quadrado destes valores de pertinência, quese tornam ponderadores no cálculo da medida de locação robusta fuzzy, resultados na Tabela 5.

Tabela 5 - Avaliação do quadrado das Pertinências segundo a Contagem Volumétrica de Veículos a nível horário para as vias urbanas

Especificação	Av Genaro de Carvalho		Est. Benvindo de Novais	
	Barra da Tijuca	Recreio	Av. das Américas	Estrada dos Bandeirantes
00:00-00:59	0,00061	0,00002	0,00103	0,00005
01:00-01:59	0,00160	0,00031	0,00102	0,00070
02:00-02:59	0,00160	0,00137	0,00037	0,00105
03:00-03:59	0,00392	0,00329	0,00197	0,00400
04:00-04:59	0,00502	0,00418	0,00724	0,00681
05:00-05:59	0,00502	0,00840	0,00713	0,00758
06:00-06:59	0,00213	0,00978	0,00124	0,00404
07:00-07:59	0,00069	0,00418	0,00001	0,00183
08:00-08:59	0,00000	0,00041	0,00137	0,00071
09:00-09:59	0,00073	0,00000	0,01016	0,00006
10:00-10:59	0,00588	0,00003	0,01037	0,00000
11:00-11:59	0,01000	0,00114	0,01266	0,00015
12:00-12:59	0,01253	0,01036	0,00301	0,00079
13:00-13:59	0,00924	0,00718	0,00483	0,00088
14:00-14:59	0,00237	0,00195	0,00266	0,00292
15:00-15:59	0,00002	0,00142	0,00016	0,00460
16:00-16:59	0,00014	0,00074	0,00002	0,01058
17:00-17:59	0,00064	0,00133	0,00000	0,01164
18:00-18:59	0,00066	0,00648	0,00001	0,00728
19:00-19:59	0,00007	0,00125	0,00000	0,00146
20:00-20:59	0,00003	0,00000	0,00012	0,00000
21:00-21:59	0,00000	0,00006	0,00035	0,00006
22:00-22:59	0,00052	0,00001	0,00090	0,00000
23:00-23:59	0,00283	0,00190	0,00309	0,00058
Soma	0,06626	0,06577	0,06972	0,06778

Os valores médios da CVV (Média Fuzzy) por via e sentido foram obtidos por uma média ponderada, onde os ponderadores corresponderam ao quadrado das pertinências, conforme exibe a Tabela 6.

Tabela 6 - Cálculo da Média Fuzzy

Especificação	Av Genaro de Carvalho		Est. Benvindo de Novais	
	Barra da Tijuca	Recreio	Av. das Américas	Estrada dos Bandeirantes
00:00-00:59	0,06884	0,00376	0,37684	0,02375
01:00-01:59	0,12485	0,04645	0,37330	0,24124
02:00-02:59	0,12485	0,15235	0,16369	0,33081
03:00-03:59	0,14521	0,25996	0,60677	0,78078
04:00-04:59	0,12057	0,28813	1,15151	0,91996
05:00-05:59	0,12057	0,30227	1,14870	0,92475
06:00-06:59	0,14033	0,27381	0,43567	0,78417
07:00-07:59	0,07509	0,28813	0,00353	0,49423
08:00-08:59	0,00019	0,05980	1,43643	0,24409
09:00-09:59	0,27229	0,00039	12,99159	0,02985
10:00-10:59	2,74782	0,00854	13,29187	0,00104
11:00-11:59	4,98812	0,41866	16,60612	0,11861
12:00-12:59	6,44195	4,75296	3,39028	0,70688
13:00-13:59	4,56615	3,15833	5,69885	0,79793
14:00-14:59	0,99624	0,75212	2,96447	2,94126
15:00-15:59	0,00654	0,53051	0,14402	4,85302
16:00-16:59	0,04654	0,26032	0,01514	12,21678
17:00-17:59	0,23860	0,49642	0,00209	13,59236
18:00-18:59	0,24670	2,81885	0,00632	8,05708
19:00-19:59	0,02121	0,46407	0,00005	1,38093
20:00-20:59	0,00503	0,00003	0,06024	0,00012
21:00-21:59	0,00000	0,01707	0,15719	0,04504
22:00-22:59	0,06130	0,00289	0,33885	0,00019
23:00-23:59	0,15006	0,18951	0,80858	0,20597
$\sum A_i(x^j)^2 * x^j$	21,70903	15,54536	62,17209	49,69084
$\sum A_i(x^j)^2$	0,06626	0,06577	0,06972	0,06778
Média Fuzzy (aproximada)	**328**	**236**	**892**	**733**

Nesta fase, foi calculada a função critério que apresentou valor J(P, L)= 40.866,16, o que conduz a 1ª iteração com o uso de α=0,1, valor sugerido porSârbu e Pop. O objetivo do método é que após as ponderações das pertinências por α, a pertinência máxima deverá representar o valor mais próximo à Média Fuzzy.

Obtida a Média Fuzzy, foram calculadas as distâncias de cada CVV em relação à Média Fuzzy para cada via por sentido nos intervalos horários, o que permitiu obter a nova norma destas Distâncias Euclidianas, conforme exibe a Tabela 7.

Tabela 7 - Cálculo da Norma da Distância Euclidiana – 1ª Iteração

Especificação	Distância da CVV em relação a média				Soma
	Av Genaro de Carvalho		Est. Benvindo de Novais		
	Barra da Tijuca	Recreio	Av. das Américas	Estrada dos Bandeirantes	
00:00-00:59	46.062,49	1.547,77	276.388,25	66.102,54	390.101,05
01:00-01:59	62.311,01	7.113,52	275.337,80	151.402,03	496.164,36
02:00-02:59	62.311,01	15.710,54	204.056,74	174.811,07	456.889,37
03:00-03:59	84.460,99	24.756,41	340.736,52	289.556,06	739.509,98
04:00-04:59	92.186,16	28.003,25	536.887,98	357.728,56	1.014.805,94
05:00-05:59	92.186,16	40.136,80	533.961,08	373.448,26	1.039.732,30
06:00-06:59	68.445,93	43.406,27	293.467,50	290.633,27	695.952,96
07:00-07:59	47.795,46	28.003,25	82.212,03	214.465,44	372.476,18
08:00-08:59	12.459,41	8.343,31	24.734,98	152.181,24	197.718,94
09:00-09:59	2.244,70	374,10	149.980,84	70.811,41	223.411,05
10:00-10:59	19.426,30	3.097,85	152.313,48	31.721,08	206.558,71
11:00-11:59	29.370,51	17.071,59	176.629,89	4.746,64	227.818,63
12:00-12:59	34.736,86	49.576,72	54.884,12	27.190,65	166.388,34
13:00-13:59	27.681,73	41.476,70	83.101,67	29.892,98	182.153,07
14:00-14:59	8.719,50	22.099,29	48.962,00	75.018,95	154.799,74
15:00-15:59	937,69	18.949,81	105,55	102.974,16	122.967,20
16:00-16:59	5,66	13.843,47	5.734,49	177.996,12	197.579,74
17:00-17:59	1.881,67	18.403,17	14.817,32	189.134,41	224.236,58
18:00-18:59	1.969,43	39.465,12	9.746,90	139.798,12	190.979,57
19:00-19:59	159,31	17.864,54	27.797,69	44.899,86	90.721,40
20:00-20:59	21.205,69	348,13	151.108,22	6.577,88	179.239,92
21:00-21:59	8.765,03	4.180,70	201.355,39	954,55	215.255,67
22:00-22:59	43.941,27	1.320,72	264.943,27	24.368,50	334.573,76
23:00-23:59	75.417,10	18.589,06	396.555,34	141.454,32	632.015,82
Norma da Distância Euclidiana					8.752.050,29

A próxima etapa é obter novas pertinências em função da expressão 6, cujos resultados encontram-se na Tabela 8. Neste resultado, as pertinências máximas apontaram valores mais próximos a Média Fuzzy, calculada isenta de fator α, observadasna Avenida Genaro de Carvalho para o sentido Barra da Tijuca e sentido Recreio dos Bandeirantes no intervalo de 16:00 às 16:59h, e intervalo foi de 20:00 às 20:59h, respectivamente.Na Estrada Benvindo de Novaes os intervalos foram de 15:00 as 15:59h e de 21:00 as 21:59h, sentido Avenida das Américas e no sentido Estrada dos Bandeirantes, respectivamente.

Tabela 8 - Avaliação das Pertinências segundo a Contagem Volumétrica de Veículos a nível horário para as vias urbanas – 1ª Iteração

Especificação	Av Genaro de Carvalho		Est. Benvindo de Novais	
	Barra da Tijuca	Recreio	Av. das Américas	Estrada dos Bandeirantes
00:00-00:59	0,00000	0,00007	0,00000	0,00000
01:00-01:59	0,00000	0,00002	0,00000	0,00000
02:00-02:59	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000
03:00-03:59	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
04:00-04:59	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
05:00-05:59	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
06:00-06:59	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
07:00-07:59	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
08:00-08:59	0,00001	0,00001	0,00000	0,00000
09:00-09:59	0,00005	0,00030	0,00000	0,00000
10:00-10:59	0,00001	0,00004	0,00000	0,00000
11:00-11:59	0,00000	0,00001	0,00000	0,00002
12:00-12:59	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
13:00-13:59	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
14:00-14:59	0,00001	0,00001	0,00000	0,00000
15:00-15:59	0,00012	0,00001	0,00105	0,00000
16:00-16:59	0,01927	0,00001	0,00002	0,00000
17:00-17:59	0,00006	0,00001	0,00001	0,00000
18:00-18:59	0,00006	0,00000	0,00001	0,00000
19:00-19:59	0,00070	0,00001	0,00000	0,00000
20:00-20:59	0,00001	0,00032	0,00000	0,00002
21:00-21:59	0,00001	0,00003	0,00000	0,00012
22:00-22:59	0,00000	0,00008	0,00000	0,00000
23:00-23:59	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000
Maior pertinência	0,01927	0,00032	0,00105	0,00012

Na primeira iteração, há necessidade de obter o quadrado destes valores de pertinência, que são os ponderadores para o cálculo da medida de locação robusta fuzzy, tais resultados estão na Tabela 9.

Tabela 9 - Avaliação do quadrado das Pertinências segundo a Contagem Volumétrica de Veículos a nível horário para as vias urbanas – 1ª Iteração

Especificação	Av Genaro de Carvalho		Est. Benvindo de Novais	
	Barra da Tijuca	Recreio	Av. das Américas	Estrada dos Bandeirantes
00:00-00:59	5,819E-12	5,153E-9	161,613E-15	2,825E-12
01:00-01:59	3,180E-12	243,967E-12	162,848E-15	538,581E-15
02:00-02:59	3,180E-12	50,018E-12	296,492E-15	403,996E-15
03:00-03:59	1,731E-12	20,144E-12	106,335E-15	147,248E-15
04:00-04:59	1,453E-12	15,743E-12	42,830E-15	96,473E-15
05:00-05:59	1,453E-12	7,663E-12	43,301E-15	88,523E-15
06:00-06:59	2,635E-12	6,553E-12	143,349E-15	146,158E-15
07:00-07:59	5,404E-12	15,743E-12	1,827E-12	268,411E-15
08:00-08:59	79,527E-12	177,348E-12	20,178E-12	533,080E-15
09:00-09:59	2,450E-9	88,161E-9	548,836E-15	2,462E-12
10:00-10:59	32,714E-12	1,286E-9	532,154E-15	12,269E-12
11:00-11:59	14,312E-12	42,361E-12	395,718E-15	547,926E-12
12:00-12:59	10,231E-12	5,023E-12	4,098E-12	16,698E-12
13:00-13:59	16,111E-12	7,176E-12	1,788E-12	13,816E-12
14:00-14:59	162,376E-12	25,279E-12	5,150E-12	2,194E-12
15:00-15:59	14,038E-9	34,380E-12	1,106E-6	1,164E-12
16:00-16:59	371,175E-6	64,420E-12	375,413E-12	389,667E-15
17:00-17:59	3,486E-9	36,452E-12	56,230E-12	345,123E-15
18:00-18:59	3,183E-9	7,927E-12	129,949E-12	631,701E-15
19:00-19:59	485,772E-9	38,684E-12	15,977E-12	6,124E-12
20:00-20:59	27,454E-12	101,800E-9	540,677E-15	285,317E-12
21:00-21:59	160,693E-12	706,309E-12	304,500E-15	13,546E-9
22:00-22:59	6,394E-12	7,077E-9	175,877E-15	20,790E-12
23:00-23:59	2,171E-12	35,727E-12	78,507E-15	616,995E-15
Soma	371,685E-6	205,018E-9	1,107E-6	14,462E-9

Na Tabela 10 encontra-se a média fuzzy obtida segundo três alternativas. A primeira, a média Fuzzy, a segunda opção a média fuzzy com o uso da ponderação pelas pertinências ao quadrado, segundo o uso do fator α. A terceira, opta pela pertinência máxima. Estes valores, ponderadores da Média Fuzzy, serão aplicados às contagens volumétricas correspondentes as vias por sentido por intervalos horários, permitindo a obtenção da Média Fuzzy, Tabela 10, e da função critério, esta J(P, L; α) = 10,66. A expectativa seria que a pertinência máxima inferisse na CVV média, porém o valor correspondente a Est. Benvindo de Novais sentido Av. das Américas se distanciou.

Tabela 10 - Medida Locacional Fuzzy (CVV) e CVVs correspondentes a pertinência máxima da distribuição – 1ª Iteração

Especificação	Av Genaro de Carvalho		Est. Benvindo de Novais	
	Barra da Tijuca	Recreio	Av. das Américas	Estrada dos Bandeirantes
Média Observada	241	242	695	617
Mediana	225	236	665	566
Média Fuzzy	328	236	892	733
Média Fuzzy (α=0,1)	330	236	902	763
Pertinência máxima	330	255	902	764

Uma vez que a função critério ainda não convergiu, o método foi replicado para obter a nova norma da Distância Euclidiana (9.049.538,68) e novas pertinências (Tabela 11). Nesta segunda iteração, as pertinências máximas apontaram para valores mais altos em todas as vias, isto é, o que virá a convergir para a Média Fuzzy da CVV. Neste caso, a ocorrência das pertinências manteve-se nos mesmos intervalos horários da iteração anterior, com exceção da Avenida Genaro de Carvalho, sentido Recreio dos Bandeirantes (de 09:00 às 09:59h). Cabe ressaltar que as pertinências referentes à Avenida Genaro de Carvalho sentido Barra da Tijuca e a Estrada Benvindo de Novais sentido Avenida das Américas se aproximam do valor de pertinência 1,00. Os valores menores relativos às pertinências indicam valores extremos, de baixa e alta intensidade de tráfego, isto é,CVV distantes da medida locacional.

Tabela 11 - Avaliação das Pertinências segundo a Contagem Volumétrica de Veículos a nível horário para as vias urbanas– 2ª Iteração

Especificação	Av Genaro de Carvalho		Est. Benvindo de Novais	
	Barra da Tijuca	Recreio	Av. das Américas	Estrada dos Bandeirantes
00:00-00:59	0,00000	0,00007	0,00000	0,00000
01:00-01:59	0,00000	0,00002	0,00000	0,00000
02:00-02:59	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000
03:00-03:59	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
04:00-04:59	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
05:00-05:59	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
06:00-06:59	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
07:00-07:59	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
08:00-08:59	0,00001	0,00001	0,00001	0,00000
09:00-09:59	0,00005	0,00032	0,00000	0,00000
10:00-10:59	0,00001	0,00003	0,00000	0,00000
11:00-11:59	0,00000	0,00001	0,00000	0,00007
12:00-12:59	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001
13:00-13:59	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001
14:00-14:59	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000
15:00-15:59	0,00010	0,00001	0,98035	0,00000
16:00-16:59	0,99647	0,00001	0,00002	0,00000
17:00-17:59	0,00007	0,00001	0,00001	0,00000
18:00-18:59	0,00006	0,00000	0,00001	0,00000
19:00-19:59	0,00049	0,00001	0,00000	0,00000
20:00-20:59	0,00001	0,00029	0,00000	0,00001
21:00-21:59	0,00001	0,00003	0,00000	0,10954
22:00-22:59	0,00000	0,00009	0,00000	0,00000
23:00-23:59	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000
Pertinência máxima	0,99647	0,00032	0,98035	0,10954

De forma análoga a etapa anterior, foi possível calcular a Média Fuzzy e identificar as CVVs correspondentes às pertinências máximas de cada uma das vias para cada sentido(Tabela 12). Assim como na iteração anterior, nem todos os valores da medida de locação robusta tenderam ao valor mediano, porque existem valores discrepantes que influenciam a Média Fuzzy. Apesar de nem todas as medidas terem convergido para o valor mediano, a função critério foi minimizada($J(P, L; \alpha) = 2,67$), e os valores das pertinências máximas de cada via nos dois sentidos tenderampara 1,00. A indução realizada apresentou como medida locacional da CVV mais relevante o fluxo de veículos da Estrada Benvindo de Novais sentido Avenida as Américas, sendo que no outro sentido(Estrada dos Bandeirantes)

verificou-se o segundo maior fluxo, seguida pela Avenida Genaro de Carvalho, sentido Barra da Tijuca. Nesta iteração, a Média Fuzzy da Avenida Genaro de Carvalho sentido Recreio dos Bandeirantes foi o valor que mais se aproximou da mediana, entretanto, a CVV correspondente a pertinência máxima foi o único que não se igualou a esta Média Fuzzy, que foi a menor dentre as observadas.

Tabela 12 - Medida Locacional Fuzzy (CVV) e CVVs correspondentes a pertinência máxima da distribuição – 2ª Iteração

Especificação	Av Genaro de Carvalho		Est. Benvindo de Novais	
	Barra da Tijuca	Recreio	Av. das Américas	Estrada dos Bandeirantes
Média Observada	241	242	695	617
Mediana	225	236	665	566
Média Fuzzy J (P, L)= 40.866,16	328	236	892	733
Média Fuzzy (α=0,1) 1ª Iteração J (P, L; α) = 10,66	330	236	902	763
Média Fuzzy (α=0,1) 2ª Iteração J (P, L; α) = 2,67	330	232	902	764
CVV correspondente a Pertinência máxima	330	217	902	764

O método foi replicado mais uma vez, e foi possível obter a nova norma da Distância Euclidiana (4.391.587,60), calculada em função da Média Fuzzy da iteração anterior, e surgiram novas pertinências, que não se diferenciaram muito das anteriores (Tabela 13). Nesta terceira iteração, na Avenida Genaro de Carvalho sentido Barra da Tijuca, a maior pertinência atingiu o valor 1,00, embora o sentido Recreioainda apresentecomo valor máximo 0,00048, indicando que ainda há influência de *outliers.* A Estrada Benvindo de Novais em ambos os sentidos já atingiram valor 1,00. Dando continuidade ao método, calcula-se a Média Fuzzy e o valor da função critério.

Tabela 13 - Avaliação das Pertinências segundo a Contagem Volumétrica de Veículos a nível horário – 3ª Iteração

Especificação	Av Genaro de Carvalho		Est. Benvindo de Novais	
	Barra da Tijuca	Recreio	Av. das Américas	Estrada dos Bandeirantes
00:00-00:59	0,00000	0,00009	0,00000	0,00000
01:00-01:59	0,00000	0,00002	0,00000	0,00000
02:00-02:59	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000
03:00-03:59	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
04:00-04:59	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
05:00-05:59	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
06:00-06:59	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
07:00-07:59	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
08:00-08:59	0,00001	0,00001	0,00001	0,00000
09:00-09:59	0,00005	0,00048	0,00000	0,00000
10:00-10:59	0,00001	0,00003	0,00000	0,00000
11:00-11:59	0,00000	0,00001	0,00000	0,00008
12:00-12:59	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001
13:00-13:59	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001
14:00-14:59	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000
15:00-15:59	0,00010	0,00001	1,00000	0,00000
16:00-16:59	1,00000	0,00001	0,00002	0,00000
17:00-17:59	0,00007	0,00001	0,00001	0,00000
18:00-18:59	0,00006	0,00000	0,00001	0,00000
19:00-19:59	0,00049	0,00001	0,00000	0,00000
20:00-20:59	0,00001	0,00021	0,00000	0,00001
21:00-21:59	0,00001	0,00002	0,00000	1,00000
22:00-22:59	0,00000	0,00011	0,00000	0,00000
23:00-23:59	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000
Pertinência máxima	1,00000	0,00048	1,00000	1,00000

As novas MédiasFuzzy seguem na Tabela 14, e a função critério correspondente convergiu para o valor anterior: J (P, L; α) = 2,67.

Tabela 14 - Medida Locacional Fuzzy (CVV) e CVVs correspondentes à pertinência máxima da distribuição – 3ª Iteração

Especificação	Av Genaro de Carvalho		Est. Benvindo de Novais	
	Barra da Tijuca	Recreio	Av. das Américas	Estrada dos Bandeirantes
Média Observada	241	242	695	617
Mediana	225	236	665	566
Média Fuzzy	328	236	892	733
Média Fuzzy (α=0,1) 1ª Iteração	330	236	902	763
Média Fuzzy (α=0,1) 2ª Iteração	330	232	902	764
Média Fuzzy (α=0,1) 3ª Iteração	330	221	902	764
Pertinência máxima	330	217	902	764

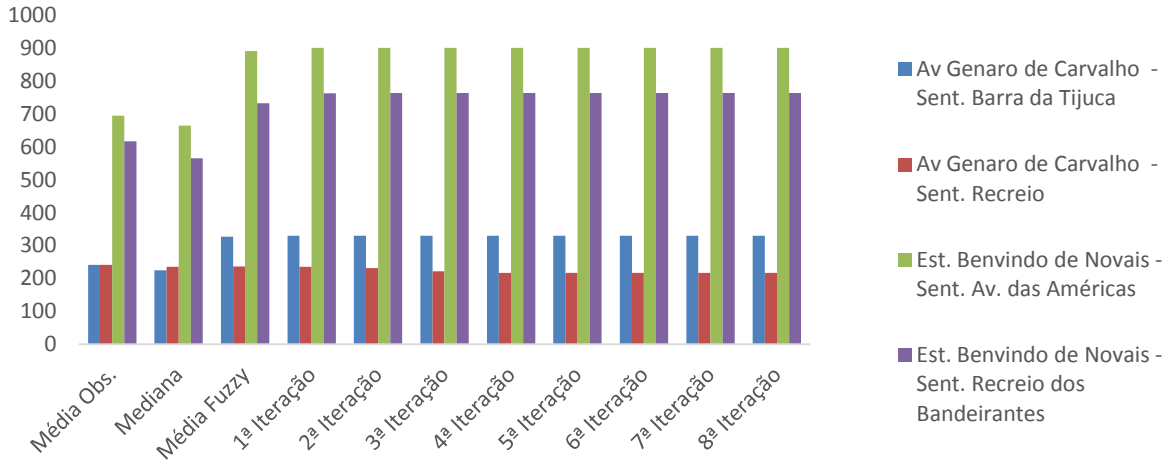
A partir da terceira iteração ainda foram realizadas mais cinco iterações, sendo que a função critério manteve-se constante com valor J(P, L) = 2,67, o que levou a acreditar que as Médias Fuzzy já representavam o fluxo médio de tráfego. Cabe ressaltar que a partir da 5ª iteraçãotodas as CVV correspondentes a pertinência máxima de cada via e sentido se igualaram a Média Fuzzy. Entretanto, apenas na 6ª iteração,as pertinências máximas de todas as vias em ambos os sentidos convergiram ao valor 1,00.

Poder-se-ia alterar o valor de α para verificar se aceleraria a convergência da função critério, ou mesmo, onde a pertinência máxima de cada via por sentido viria a atingir o valor 1,00 mais rapidamente.

A indução pelas Médias Fuzzyrealizada apresentou uma medida locacional da CVV mais relevante, sendo que o fluxo de veículos da Estrada Benvindo de Novais sentido Avenida as Américas foi a via que apresentou maior valor. Em relação ao outro sentido, teve o segundo maior fluxo. A Avenida Genaro de Carvalho, sentido Barra da Tijuca mostrou uma Média Fuzzy correspondente a menos da metade do fluxo da via anterior, nos dois sentidos, sendo que no sentido Recreio dos Bandeirantes apresentou a mesma feição, valor de CVV que mais se aproximou da mediana.

Objetivando realizar uma síntese do Algoritmo FNM, foi construído o Gráfico 1 com os parâmetros e estatísticas obtidas.

Gráfico 1:MédiaFuzzy (CVV) FNM



5.2. **Método GFNM**

A aplicação do método proposto foi feita a partir do cálculo do desvio da CVV em relação à média (Tabela 2) para cada via nos dois sentidos para os intervalos horários e os resultados encontram-se na Tabela 15.

Tabela 15 - Desvio da CVV em relação à média de cada via por sentido em intervalo horário

Especificação	Av Genaro de Carvalho		Est. Benvindo de Novais	
	Barra da Tijuca	Recreio	Av. das Américas	Estrada dos Bandeirantes
00:00-00:59	-128,13	-44,96	-329,33	-141,00
01:00-01:59	-163,13	-89,96	-328,33	-273,00
02:00-02:59	-163,13	-130,96	-255,33	-302,00
03:00-03:59	-204,13	-162,96	-387,33	-422,00
04:00-04:59	-217,13	-172,96	-536,33	-482,00
05:00-05:59	-217,13	-205,96	-534,33	-495,00
06:00-06:59	-175,13	-213,96	-345,33	-423,00
07:00-07:59	-132,13	-172,96	-90,33	-347,00
08:00-08:59	-25,13	-96,96	353,67	-274,00
09:00-09:59	133,88	-24,96	583,67	-150,00
10:00-10:59	225,88	50,04	586,67	-62,00
11:00-11:59	257,88	125,04	616,67	185,00
12:00-12:59	272,88	217,04	430,67	281,00
13:00-13:59	252,88	198,04	484,67	289,00
14:00-14:59	179,88	143,04	417,67	390,00
15:00-15:59	55,88	132,04	206,67	437,00
16:00-16:59	88,88	112,04	120,67	538,00
17:00-17:59	129,88	130,04	74,67	551,00
18:00-18:59	130,88	193,04	97,67	490,00
19:00-19:59	73,88	128,04	29,67	328,00
20:00-20:59	-59,13	13,04	-192,33	35,00
21:00-21:59	-7,13	59,04	-252,33	147,00
22:00-22:59	-123,13	-41,96	-318,33	-40,00
23:00-23:59	-188,13	-141,96	-433,33	-260,00

Dando continuidade ao método, foram calculadas as pertinências pelo Princípio de Extensão em função da Distância de Mahalanobisque utiliza a Matriz de Correlação, ou seja, a Matriz de Covariância, caso CVV tenha sido padronizado em unidades do desvio padrão. (Equação 12), estando os resultados na Tabela 16. A Matriz mostra correlações entre 0,56 a 0,89, conduzindo a protótipos elípticos.

$$M = \begin{pmatrix} 1{,}00 & 0{,}89 & 0{,}92 & 0{,}77 \\ 0{,}89 & 1{,}00 & 0{,}70 & 0{,}94 \\ 0{,}92 & 0{,}92 & 1{,}00 & 0{,}56 \\ 0{,}77 & 0{,}94 & 0{,}56 & 1{,}00 \end{pmatrix}$$

Tabela 16 - Distância de Mahalanobis e Pertinências para cada intervalo horário

Especificação	MáxMin Distância de Mahalanobis (2vias, 2 sentidos)	A_i	A_i^2
00:00-00:59	742,68427	0,66587	0,44338
01:00-01:59	728,30296	0,65297	0,42637
02:00-02:59	768,16487	0,68871	0,47432
03:00-03:59	656,25555	0,58838	0,34619
04:00-04:59	490,31377	0,43960	0,19325
05:00-05:59	475,46838	0,42629	0,18172
06:00-06:59	643,77316	0,57719	0,33314
07:00-07:59	834,66711	0,74833	0,56000
08:00-08:59	1.049,60925	0,94104	0,88556
09:00-09:59	1.088,95228	0,97632	0,95320
10:00-10:59	1.047,64060	0,93928	0,88225
11:00-11:59	1.109,54770	0,99478	0,98959
12:00-12:59	1.030,00658	0,92347	0,85280
13:00-13:59	1.076,59816	0,96524	0,93169
14:00-14:59	1.115,36632	1,00000	1,00000
15:00-15:59	1.109,26481	0,99453	0,98909
16:00-16:59	1.057,20827	0,94786	0,89843
17:00-17:59	1.001,61532	0,89801	0,80643
18:00-18:59	1.007,60850	0,90339	0,81611
19:00-19:59	963,44191	0,86379	0,74613
20:00-20:59	839,93487	0,75306	0,56710
21:00-21:59	784,87660	0,70369	0,49519
22:00-22:59	781,40195	0,70058	0,49081
23:00-23:59	663,39179	0,59477	0,35376
Soma	1115,36632	18,88715	15,61651

Na Tabela 17 estão as CVV ponderadas pelas pertinências elevadas ao quadrado relativas às vias nos dois sentidos para cada intervalo horário e a totalização dividida pela soma das pertinências elevadas ao quadrado permitiram obter a Média Fuzzy, Além disso, a partir dessas pertinências e da distância, também foi possível obter a função critério (expressão 16), J (P, L) = 14.748.537,82, que deverá ser minimizada.

Tabela 17 - Obtenção da Média Fuzzy

Especificação	Av Genaro de Carvalho		Est. Benvindo de Novais	
	Barra da Tijuca	Recreio	Av. das Américas	Estrada dos Bandeirantes
00:00-00:59	50,10163	87,34532	162,27607	211,04757
01:00-01:59	33,25705	64,80861	156,47867	146,67211
02:00-02:59	36,99716	52,64981	208,70195	149,41162
03:00-03:59	12,80892	27,34878	106,62564	67,50649
04:00-04:59	4,63793	13,33405	30,72630	26,08837
05:00-05:59	4,36134	6,54200	29,25729	22,17012
06:00-06:59	21,98744	9,32800	116,60005	64,62974
07:00-07:59	61,04049	38,64031	338,80274	151,20122
08:00-08:59	191,28195	128,40687	928,95727	303,74866
09:00-09:59	357,44886	206,84374	1.219,13890	445,14297
10:00-10:59	412,00878	257,61577	1.131,03910	489,64641
11:00-11:59	493,80723	363,18087	1.298,34688	793,65411
12:00-12:59	438,33693	391,43317	960,24783	765,81044
13:00-13:59	460,25569	409,94433	1.099,39617	844,11265
14:00-14:59	421,00000	385,00000	1.113,00000	1.007,00000
15:00-15:59	293,75946	369,91932	892,15837	1.042,49991
16:00-16:59	296,48313	318,04554	733,12193	1.037,69097
17:00-17:59	299,18566	299,99209	620,95138	941,91066
18:00-18:59	303,59284	355,00776	647,17507	903,43354
19:00-19:59	235,03177	276,06906	540,94613	705,09530
20:00-20:59	103,21137	144,60934	285,24901	369,74624
21:00-21:59	115,87335	149,05076	219,36707	378,32154
22:00-22:59	57,91565	98,16212	185,03560	283,19772
23:00-23:59	18,74912	35,37571	92,68435	126,29128
Média Fuzzy	**302,44493**	**287,43002**	**839,89860**	**722,05830**

As médias obtidas permitiram obter a Matriz de Correlação Fuzzy e as pertinências foram tratadas como ponderadores para a obtenção damédia fuzzy, dada pela multiplicação da distância de cada CVV em relação média para cada uma das vias. A Matriz de Correlação Fuzzydeve assumir valores próximos a Matriz de Correlação Observada (página 62) e as correlações estão na matriz a seguir.

$$M = \begin{pmatrix} 1{,}00 & 0{,}88 & 0{,}91 & 0{,}73 \\ 0{,}88 & 1{,}00 & 0{,}65 & 0{,}93 \\ 0{,}92 & 0{,}92 & 1{,}00 & 0{,}49 \\ 0{,}73 & 0{,}93 & 0{,}49 & 1{,}00 \end{pmatrix}$$

A partir de novas iterações, a Média Fuzzydeverá se aproximar do valor mediano da distribuição ea função critério deverá ser minimizada, sendo que o coeficiente de variação obtido pela Matriz de Covariância Fuzzy a cada iteração deve contribuir para minimizar a variabilidade da distribuição sem expurgar os valores extremos, sendo que os valoresnesta primeira iteração encontram-se na Tabela 18, tendo maior expressividade para Av. Genaro de Carvalho sentido Barra da Tijuca, os demais sentidos, coeficientes de variação próximos a 555.

Tabela 18 - Medida Locacional Fuzzy (CVV) e CVs correspondentes à cada via

Especificação	Av Genaro de Carvalho		Est. Benvindo de Novais	
	Barra da Tijuca	Recreio	Av. das Américas	Estrada dos Bandeirantes
Média	241	242	695	617
Médiana	225	236	665	566
Média Fuzzy	302	287	840	722
Coeficiente de Variação (%)	68,68%	56,37%	53,86%	54,93%

A partir desta etapa, estima-se a CVVponderando-se as CVV observadas pelas pertinências da iteração anterior, Tabela 19. Essadistribuição estimada ainda apresenta diferenças que podem ser significativasentre os valores da média e da mediana e os coeficientes de variação entre 68% e 80% para cada via e sentidos, o que evidencia a presença de *outliers.*

Tabela 19 - CVV estimadas

Especificação	Av Genaro de Carvalho		Est. Benvindo de Novais	
	Barra da Tijuca	Recreio	Av. das Américas	Estrada dos Bandeirantes
00:00-00:59	75	131	244	317
01:00-01:59	51	99	240	225
02:00-02:59	54	76	303	217
03:00-03:59	22	46	181	115
04:00-04:59	11	30	70	59
05:00-05:59	10	15	69	52
06:00-06:59	38	16	202	112
07:00-07:59	82	52	453	202
08:00-08:59	203	136	987	323
09:00-09:59	366	212	1.249	456
10:00-10:59	439	274	1.204	521
11:00-11:59	496	365	1.305	798
12:00-12:59	475	424	1.040	829
13:00-13:59	477	425	1.139	875
14:00-14:59	421	385	1.113	1.007
15:00-15:59	295	372	897	1.048
16:00-16:59	313	336	773	1.095
17:00-17:59	333	334	691	1.049
18:00-18:59	336	393	716	1.000
19:00-19:59	272	320	626	816
20:00-20:59	137	192	379	491
21:00-21:59	165	212	312	538
22:00-22:59	83	140	264	404
23:00-23:59	32	59	156	212
Média	216	210	609	532
Mediana	184	202	539	473
Coeficiente de variação (%)	79,65%	68,91%	68,71%	67,65%

De forma análoga deu-se continuidade ao método,estando os resultados na Tabela 20.

Tabela 20 - Desvio da CVV em relação à média fuzzy para cada via e sentido por intervalo horário

Especificação	Av. Genaro de Carvalho		Est. Benvindo de Novais	
	Barra da Tijuca	Recreio	Av. das Américas	Estrada dos Bandeirantes
00:00-00:59	-227,20	-156,25	-596,19	-405,11
01:00-01:59	-251,51	-188,18	-600,26	-497,44
02:00-02:59	-248,73	-210,98	-536,87	-505,11
03:00-03:59	-280,67	-240,95	-658,68	-607,32
04:00-04:59	-291,89	-257,10	-770,00	-662,71
05:00-05:59	-292,21	-272,08	-771,27	-670,05
06:00-06:59	-264,35	-271,27	-637,88	-610,08
07:00-07:59	-220,88	-235,79	-387,16	-520,01
08:00-08:59	-99,18	-150,98	147,26	-399,28
09:00-09:59	63,67	-75,57	408,81	-266,12
10:00-10:59	136,20	-13,16	364,26	-200,76
11:00-11:59	193,95	77,66	465,26	75,76
12:00-12:59	172,22	136,44	199,93	107,22
13:00-13:59	174,38	137,28	299,09	152,45
14:00-14:59	118,56	97,57	273,10	284,94
15:00-15:59	-7,07	84,52	57,17	326,18
16:00-16:59	10,35	48,11	-66,45	372,72
17:00-17:59	30,72	46,63	-148,43	326,82
18:00-18:59	33,62	105,54	-123,51	277,99
19:00-19:59	-30,35	32,17	-213,65	94,22
20:00-20:59	-165,39	-95,40	-461,11	-231,06
21:00-21:59	-137,78	-75,62	-528,16	-184,44
22:00-22:59	-219,78	-147,31	-575,78	-317,82
23:00-23:59	-270,92	-227,95	-684,07	-509,72

A Matriz de CorrelaçãoFuzzy nesta iteração tomou a feição

$$M = \begin{pmatrix} 1{,}00 & 0{,}92 & 0{,}94 & 0{,}82 \\ 0{,}92 & 1{,}00 & 0{,}79 & 0{,}95 \\ 0{,}94 & 0{,}94 & 1{,}00 & 0{,}68 \\ 0{,}82 & 0{,}95 & 0{,}68 & 1{,}00 \end{pmatrix}.$$

A próxima etapa é obter pertinências pelo Princípio de Extensão em função dos valores mínimos obtidos pela Distância de Mahalanobis (Tabela 21) e o quadrado destes valores funcionaram como os ponderadores para estimar a Média Fuzzy.

Tabela 21 - Distância de Mahalanobis e Pertinências para cada intervalo horário

Especificação	MáxMin Distância de Mahalanobis	A_i	A_i^2
00:00-00:59	412,8717843	0,54269	0,29451
01:00-01:59	404,8342627	0,53212	0,28315
02:00-02:59	440,4014777	0,57887	0,33509
03:00-03:59	349,1422193	0,45892	0,21061
04:00-04:59	224,6004767	0,29522	0,08715
05:00-05:59	214,3593818	0,28176	0,07939
06:00-06:59	338,3798113	0,44477	0,19782
07:00-07:59	501,6139034	0,65933	0,43472
08:00-08:59	709,9707204	0,93320	0,87086
09:00-09:59	747,3814333	0,98237	0,96506
10:00-10:59	701,8769917	0,92256	0,85112
11:00-11:59	760,1564799	0,99916	0,99833
12:00-12:59	674,4195581	0,88647	0,78583
13:00-13:59	722,7001341	0,94993	0,90237
14:00-14:59	760,7917969	1,00000	1,00000
15:00-15:59	753,2142769	0,99004	0,98018
16:00-16:59	694,7248281	0,91316	0,83386
17:00-17:59	636,6954853	0,83689	0,70038
18:00-18:59	645,2530833	0,84813	0,71933
19:00-19:59	605,3032369	0,79562	0,63302
20:00-20:59	494,9788373	0,65061	0,42329
21:00-21:59	440,6281408	0,57917	0,33544
22:00-22:59	443,6794023	0,58318	0,34010
23:00-23:59	349,0226489	0,45876	0,21046
Soma	760,7917969	**17,12295**	13,47207

O quadrado das pertinências para cada intervalo horáriofuncionaram como ponderadores para estimar a próxima Média Fuzzypara as contagens volumétricas correspondentes as vias por sentido para os intervalos horários com função critério J(P, L) = 5.744.387,55(ver Tabela 22).

Tabela 22 - Média Fuzzy

Especificação	Av Genaro de Carvalho		Est. Benvindo de Novais	
	Barra da Tijuca	Recreio	Av. das Américas	Estrada dos Bandeirantes
00:00-00:59	22,15970	38,63240	71,77390	93,34529
01:00-01:59	14,42155	28,10354	67,85526	63,60275
02:00-02:59	18,00103	25,61685	101,54428	72,69648
03:00-03:59	4,58490	9,78939	38,16623	24,16369
04:00-04:59	0,91951	2,64360	6,09177	5,17226
05:00-05:59	0,81221	1,21832	5,44858	4,12874
06:00-06:59	7,53592	3,19706	39,96323	22,15105
07:00-07:59	35,45927	22,44669	196,81520	87,83488
08:00-08:59	177,01624	118,83035	859,67609	281,09523
09:00-09:59	353,32597	204,45796	1.205,07710	440,00860
10:00-10:59	373,33787	233,43610	1.024,88041	443,68848
11:00-11:59	495,56812	364,47595	1.302,97669	796,48423
12:00-12:59	373,00466	333,09171	817,12695	651,66963
13:00-13:59	430,27656	383,24228	1.027,78610	789,13069
14:00-14:59	421,00000	385,00000	1.113,00000	1.007,00000
15:00-15:59	289,52069	364,58161	879,28505	1.027,45725
16:00-16:59	260,82605	279,79522	644,95169	912,89117
17:00-17:59	233,34003	233,96898	484,29062	734,61227
18:00-18:59	241,73847	282,67805	515,31884	719,36690
19:00-19:59	172,23956	202,31314	396,42439	516,71868
20:00-20:59	58,01511	81,28490	160,33845	207,83434
21:00-21:59	55,23477	71,04985	104,56838	180,33915
22:00-22:59	28,11550	47,65340	89,82665	137,48005
23:00-23:59	6,63444	12,51780	32,79665	44,68856
Média Fuzzy	302	277	830	688

A próxima Matriz de Covariância Fuzzy foi obtida e as pertinências utilizadas como ponderadores que vem sendo tratados pelo Princípio de Extensão e este tratamento conduziu a Matriz de Correlação, que mostram os protótipos elíticos.

$$M = \begin{pmatrix} 1{,}00 & 0{,}90 & 0{,}93 & 0{,}76 \\ 0{,}90 & 1{,}00 & 0{,}74 & 0{,}94 \\ 0{,}93 & 0{,}74 & 1{,}00 & 0{,}60 \\ 0{,}76 & 0{,}94 & 0{,}60 & 1{,}00 \end{pmatrix}$$

Os resultados obtidos nesta iteração encontram-se na Tabela 23, onde se visualiza a MédiaFuzzyestimada que se aproxima da mediana com redução dos coeficientes de variação.

Tabela 23 - Medida Locacional Fuzzy (CVV) e CVs correspondentes à cada via

Especificação	Av Genaro de Carvalho		Est. Benvindo de Novais	
	Barra da Tijuca	Recreio	Av. das Américas	Estrada dos Bandeirantes
Média	241	242	695	617
Médiana	225	236	665	566
Média Fuzzy	302	277	830	688
Coeficiente de Variação (%)	55,15%	48,90%	48,78%	48,95%

Replicando o método, foi possível obter novas CVV's ponderadas pelas pertinências e novas pertinências, ponderadores para as CVV do cálculo da Média Fuzzy. De forma análoga a etapa anterior, foi possível calcular a medida de locação robusta fuzzy e o coeficiente de variação para as vias(Tabela 24). Nesta iteração, nem todos os valores da medida de locação robusta tenderam ao valor mediano, e isto acontece porque a média fuzzy considera os valores discrepantes. Apesar disso, a função critério foi minimizada (3.691.819,52), mas nem todas as medidas convergiram para o valor mediano e o coeficiente de variação manteve-se em torno de 50%, a exceção da Av. Genaro de Carvalho, sentido Barra da Tijuca.

Tabela 24 - Medida Locacional Fuzzy (CVV) e CV's correspondentes à cada via

Especificação	Av Genaro de Carvalho		Est. Benvindo de Novais	
	Barra da Tijuca	Recreio	Av. das Américas	Estrada dos Bandeirantes
Média	241	242	695	617
Médiana	225	236	665	566
Média Fuzzy	303	273	835	674
Coeficiente de Variação (%)	55,36%	50,18%	50,75%	50,50%

Sendo assim, foram realizadas 8 iterações para verificar se a função critério convergiria e o coeficiente de variação seria reduzido. A Tabela 25 apresenta a medida de locação robusta fuzzy e os coeficientes de variação para cada via após a 8ª iteração. É possível observar que a média diminuiu, aproximando-se do valor mediano, mas o coeficiente de variação manteve-se para aAv. Genaro de Carvalho (sentido Barra da Tijuca)e para os demais sentidos no cruzamento a variabilidade situa-se por volta de 51% segundo o coeficiente de variação. Cabe ressaltar que a função critério continuou sendo minimizada, atingindo o

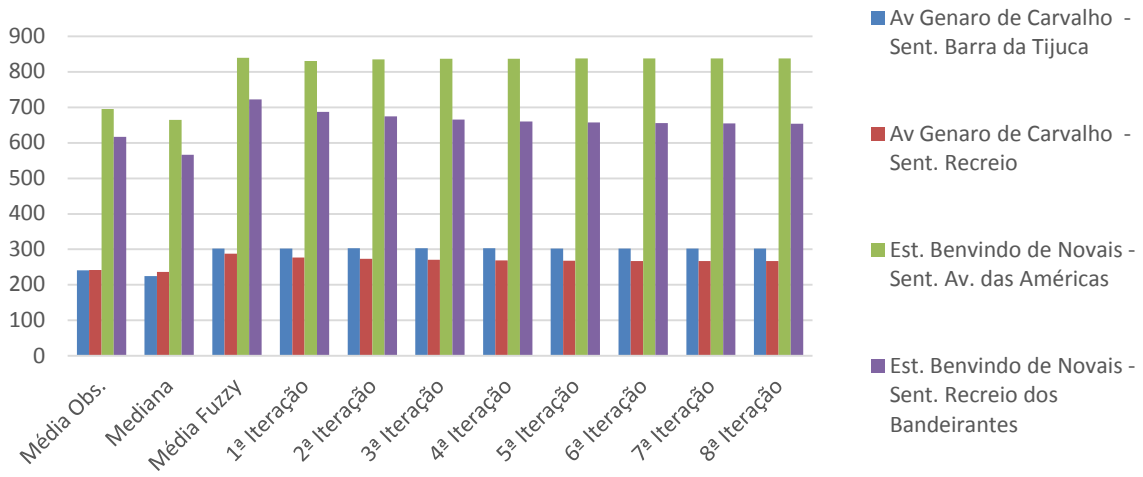
valorJ(P, L) = 2.363.822,20. Tanto a variação da função critério quanto do coeficiente de variação tornaram-se estáveis a partir da 5ª iteração.

Tabela 25 - Medida Locacional Fuzzy (CVV) e CVs correspondentes à cada via – 8ª Iteração

Especificação	Av Genaro de Carvalho		Est. Benvindo de Novais	
	Barra da Tijuca	Recreio	Av. das Américas	Estrada dos Bandeirantes
Média	241	242	695	617
Mediana	225	236	665	566
Média Fuzzy	302	267	838	654
Coeficiente de Variação (%)	55,34%	50,76%	52,06%	51,07%

Uma vez que a função critério não convergiu e os coeficientes de variação apenas aumentaram, as iterações foram finalizadas. A última indução realizada apresentou como medida locacional da CVV mais relevante, o fluxo de veículos da Estrada Benvindo de Novais sentido Avenida as Américas. A Estrada Benvindo de Novais sentido Estrada dos Bandeirantes teve o segundo maior fluxo, seguido pela Avenida Genaro de Carvalho sentido Barra da Tijuca. Nesta iteração, a média fuzzy da Avenida Genaro de Carvalho sentido Recreio dos Bandeirantes foi o valor que mais se aproximou da mediana e a menor dentre as observadas. As iterações foram finalizadas, uma vez que a função critério foi minimizada, os resultados podem ser vistos no Gráfico 2.

Gráfico 2–MédiaFuzzy (CVV) GFNM



CONSIDERAÇÕES FINAIS

A determinação do tempo de ciclo de um semáforo depende da medida locacional que deve ser robusta, atendendo as peculiaridades das variações observadas durante os períodos horários. Uma vez dimensionado este espaço de tempo, a etapa seguinte é realizar o faseamento dos tempos de verde, permissão de passagem e dos tempos de parada, quando é permitida a fluidez do fluxo oposto.

Nesta proposta foi tratada a obtenção da média fuzzy e da matriz covariância relativa aos movimentos da intercessão das vias, o que permite obter medias mais representativas considerando as variações sazonais e a correlação entre os movimentos.

O primeiro método, FNM, baseado na norma da distânciaeuclidiana, minimizou a influência dos outliers no conjunto de dados, permitiu a obtenção da média fuzzy e minimizou, significativamente, a função critério. Já o método GFNM, apesar de ter atingido os resultados esperados, não minimizou significativamente a função critério. O uso da matriz de covariância fuzzy não satisfez o objetivo proposto, o que pode levar a desqualificar a acuracidade da metodologia.

Após a aplicação dos métodos iterativos, é possível afirmar o método FNM é mais eficaz que o método GFNM para os propósitos deste trabalho, uma vez que todas as pertinências atingiram o valor máximo (1,0), sendo que a função critério foi minimizada. Acresce que a média fuzzy obtida aproximou-se da mediana. Em contrapartida, o método GFNM nos permite obter a matriz de covariância fuzzy, que caracteriza a distribuição de dados (protótipos lineares ou elípticos), sendo que na diagonal principal encontram-se os valores correspondentes a variância fuzzy, consequentemente pode ser obtido o desvio padrão fuzzy e o coeficiente de variação em torno da média fuzzy. Esta, medida locacional fuzzy minimiza a influência dos *outliers* com convergência para o valor mediano. Cabe ressaltar que as maiores pertinências obtidas no método FNM corresponderam aos valores de fluxo horário médio, aproximando-se do valor mediano. Acresce ainda que foram realizadas poucas iterações, o que conduz a necessidade da automatização das técnicas.

A aplicação dos métodos despertou meu interesse e curiosidade no assunto transportes. A oportunidade de conhecer e desenvolver ferramentas facilitadoras para a minha pesquisa, a possibilidade de realizar trabalhos diversos na área, vislumbrar uma contribuição para minha formação acadêmica e a oportunidade de ter acesso ao conhecimento de modelagens viáveis alternativas, serviram como motivação para dar continuidade ao tema que foi iniciado na

Iniciação Científica, continuado no Projeto Final de Conclusão do Curso de Estatística e a ser desenvolvido em outras áreas de pesquisa que privilegiam a ordenação, fluidez e segurança do tráfego urbano. Como expectativa futura, a pesquisa desenvolvida no curso de mestrado servirá como diretriz quando estiver no doutorado de Sistema de Transportes em Portugal.

REFERÊNCIAS

AL-ZOUBI, Moh'dBelal; ALI, Al-dahoud; YAHYA, Abdelfatah A. Fuzzy clustering-based approach for outlier detection. In:INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLICATIONS OF COMPUTER ENGINEERING, 9., 2010, Stevens Point, US. **Proceedings...** . Cambridge: World Scientific AndEngineering Academy And Society, 2010. p. 192-197.

ANDRADE, Michelle; JACQUES, Maria Alice P.; LADEIRA, Marcelo. OPERAÇÃO EM REDE ARTERIAL SOB CONTROLE SEMAFÓRICO DO TIPO FUZZY. **Transportes,** Brasília, v. 19, n. 2, p.87-95, ago. 2011. Disponível em: <http://www.revistatransportes.org.br/anpet/issue/view/37>. Acessoem: 18 nov. 2015.

ANDRIOTTI, José Leonardo Silva. **TÉCNICAS ESTATÍSTICAS APLICÁVEIS A TRATAMENTO DE INFORMAÇÕES ORIUNDAS DE PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS.** Porto Alegre: Ministério de Minas e Energia, 2005. 45 p. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/Andriotti_Tecnicas_estatisticas.pdf>. Acessoem: 21 jul. 2016.

BARNETT, Vic; LEWIS, Toby.**Outliers in statistical data.**3. ed. New York: John Wiley. Sons Inc, 1994.

BARROS, L. C. **Sobre sistemas dinâmicos fuzzy:** teoria e aplicação. 1997. 102 f. Tese (Doutorado em Matemática Aplicada) – Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1997.

BERNOULLI, Daniel; ALLEN, C. G.The most probable choice between several discrepant observations and the information there from of the most likely induction.**Biometrika,** Oxford, v. 48, n. 1-2, p.3-18, jun. 1961.

BOOCH, Grady; RUMBAUGH, James; JACOBSON, Ivar. **UML:** Guia do Usuário. 2. ed. Não Sei: Elsevier Editora, 2006.

BORGES, Paulo Sergio da Silva. **Aplicação de lógica fuzzy no controle de trânsito urbano.** 2002. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação., Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/82790?show=full>. Acesso em: 29 jul. 2016.

BOYER, Carl Benjamin. **História da matemática**.São Paulo: Editora Edgar Blücher, 1996.

BUSSAB, Wilton Oliveira; MORETTIN, Pedro A. **Estatística básica.** 6. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2009.

CET RIO (Rio de Janeiro) (Ed.). **CET Rio.** 2015. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/web/smtr/cet-rio>. Acessoem: 18 nov. 2015.

COX, Earl. **The fuzzy systems handbook**.2. ed. New York: Ap Professional, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE.**Plano nacional de contagem de trânsito**. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/>. Acesso em: 15 dez. 2013.

FALLON, Agata; SPADA, Christine.**Detection and accommodation of outliers in normally distributed data sets**.1997. Disponível em: <http://www.webapps.cee.vt.edu/ewr/environmental/teach/smprimer/outlier/outlier.html>. Acesso em: 15 dez. 2013.

FEITOSA, Francisco Coelho Citó. **Um estudo prático para contagem volumétrica automática de veículos usando Visão Computacional.** 2012. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal de Goiás, Goiania, 2012. Disponível em: <http://www.inf.ufg.br/mestrado/sites/www.inf.ufg.br.mestrado/files/uploads/Dissertacoes/francisco-coelho.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2015.

FIGUEIRA, Maria Manuela Caria. Identificação de Outliers. **Millenium**, v. 12, out. 1998. Disponível em: <http://www.ipv.pt/millenium/arq12.htm>.Acesso em: 3 nov. 2013.

FOWLER, Martin. **UML Essencial:** Um breve guia para a linguagem-padrão de modelagem de objetos. Trad. João Tortelle - 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

GOLDNER, LeniseGrando. **Engenharia de tráfego - 1º módulo**.Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009. 99 p. ECV – 5129 Engenharia de Tráfego.

HADDAD, Maurício Ferreira. **Estudo comparativo entre sínteses de controle robusto paramétrico**.2001. 104 f. Dissertação (Mestrado), Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2001.

HAMPEL, Frank R.; RONCHETTI, Elvezio M.; ROUSSEEUW, Peter J. **Robust statistics:** the approach based on influence functions. 5. ed. New York, USA: John Wiley & Sons, 1986.

INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS.Comunidade de profissionais de transporte. Disponível em: <https://www.ite.org/>. Acesso em: 15 dez. 2013.

JANUZZI, Paulo Guilherme Lanzillotti. **Uma proposta de arquitetura lógica e física para expansão dos serviços prestados de controle de tráfego utilizando redes tradicionais e sem fio**. 2008. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Ufrj, Rio de Janeiro, 2008.

JUNGES,Luiz Carlos Dill.**Introdução a lógica fuzzy.** 2006. Disponível em: <s2i.das.ufsc.br/tikiwiki/apresentacoes/logica-fuzzy.pdf>. Acessoem: 26 ago. 2013.

KANDEL, Abraham. **Fuzzy mathematical techniques with applications.**Boston, USA: Addison-weslwyPublishingCompany, 1986.

MARÔCO, João. **Análise estatística com utilização do SPSS**.3. ed. Lisboa: Silabo, 2003.

MELO, Gabriel Jesus Alves de. **Princípio de extensão de zadeh aplicado a funções não monótonas com dois parâmetros fuzzy**.2009. 69 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Sistemas, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2009.

OLIVEIRA, Anna Beatriz Espíndola de; LANZILLOTTI, Regina Serrão. ESTIMAÇÃO DE MEDIDA DE LOCAÇÃO CENTRAL ROBUSTA FUZZY PARA CONTAGEM VOLUMÉTRICA DE VEÍCULOS EM VIA URBANA. In: XIV SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA (SPOLM), 14., 2011, Rio de Janeiro. Anais de Congresso . Rio de Janeiro: Marinha do Brasil, 2011. p. 1 - 11. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/spolm/sites/www.marinha.mil.br.spolm/files/88176_0.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2016.

OLIVEIRA, Anna Beatriz Espíndola de. ESTIMAÇÃO DE MEDIDA DE LOCAÇÃO CENTRAL ROBUSTA FUZZY PARA CONTAGEM VOLUMÉTRICA DE VEÍCULOS EM VIA URBANA. In: ESCOLA DE SÉRIES TEMPORAIS E ECONOMETRIA, 14., 2011, Gramado. Anais de Congresso. Gramado: Editora, 2011. v. 1, p. 118.

OLIVEIRA, Anna Beatriz Espíndola de. Estimação de medida de locação central robusta fuzzy para contagem volumétrica de veículos em via urbana. In: X SEMANA DO IME, 10., 2011, Rio de Janeiro. **Anais de Congresso.** Rio de Janeiro. 2011. v. 1.

OLIVEIRA, Anna Beatriz Espíndola de. Estimação de medida de locação central robusta fuzzy para contagem volumétrica de veículos em via urbana. In: 22ª UERJ SEM MUROS, 20° SEMANA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 22., 2011, Rio de Janeiro. **Anais de Congresso.** Rio de Janeiro: Sem, 2011.

OLIVEIRA, Anna Beatriz Espíndola de. **Estimação de medida de locação central robusta fuzzy para contagem volumétrica de veículos em via urbana.** 2013. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Estatística, Instituto de Matemática e Estatística, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

PIRES, Danilo Machado. **Implementaçãocomputacional do princípio de extensão de zadeh**.2010. 59 f. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia de Sistemas, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2010.

RENTERÍA, Alexandre Roberto. **CONTROLE DE SEMÁFOROS POR LÓGICA FUZZY E REDES NEURAIS.** 2002. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica : Sistemas de Computação, Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.lambda.maxwell.ele.puc-rio.br/2695/2695.PDF>. Acesso em: 29 jul. 2016.

SÂRBU, C.; POP, H. F. Fuzzy robust estimation of central location.**Talanta**, v. 54, n.1, p. 125-130, 30 mar. 2001.

SHAW, I. S.; SIMOES, Marcelo Godoy. **Controle e modelagem fuzzy**.São Paulo: Editora Edgar Blücher, 1999.

SOUSA, Juliano Neves de Paula e. **Aplicação de lógica fuzzy em sistemas de controle de tráfego metropolitano em rodovias dotadas de faixas exclusivas para ônibus**.2005. 106 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Ufrj, Rio de Janeiro, 2005.

SOUTO-MAIOR, Cesar Duarte; MURCIA, Fernando Dal-ri; BORBA, José Alonso. O índice IBOVESPA e a lógica fuzzy: uma nova estratégia de investimento. In: CONGRESSO VIRTUAL BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO,3.,2006. **Anais.**..[s.l: s.n.], 2006. Disponível em: <http://www.convibra.com.br/2006/artigos/57_pdf.pdf>

SOUZA JÚNIOR, Paulo Sérgio França de. **Procedimento para concepção de controladores semafóricos fuzzycom o uso de algoritmo genético**.2009. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

TEIXEIRA, Edmar Costa. **A importância da sinalização para a segurança do tráfego urbano**. 2009. 59 f. Dissertação (Pós Graduação) – Instituto A vez do Mestre, Teixeira de Freitas, 2009.

TERANÕ, Toshirõ; ASAI, Kiyoji Autor; SUGENO, Michio. **Fuzzy systems theory and its applications**.2. ed. USA: Academic Press, 1992.

TSOUKALAS, Lefteri H.; UHRIG, Robert E. **Fuzzy and neural approaches in engineering**.New York: Wiley, John & Sons, Incorporated, 1997.

XUE, Zhenxia; SHANG, Youlin; FENG, Aifen. Semi-supervised outlier detection based on fuzzy rough C-means clustering.**Mathematics and Computers in Simulation**, v. 80, p.1911-1921, mar. 2010.

ZADEH, Lotfi A. Fuzzy sets. **Information and control**,v. 8, n. 3, p.338-353, jun. 1965.

ZIMMERMANN, Hans-jürgen. **Fuzzy set theory and its applications**.4. ed. Boston, US: Kluwer Nijhoff Publishing, 1985.