



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP  
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas  
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**UTILIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DO  
FLUXO DE VEÍCULOS EM UM CRUZAMENTO COM INTERSEÇÕES  
SEMAFORIZADAS DA REGIÃO CENTRAL DO MUNICÍPIO DE JOÃO  
MONLEVADE**

*Matheus Lucas de Melo Santos*

**Orientador (a):** *Prof.<sup>a</sup> Dra. Mônica do Amaral*

João Monlevade

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

*Matheus Lucas de Melo Santos*

**UTILIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DO  
FLUXO DE VEÍCULOS EM UM CRUZAMENTO COM INTERSEÇÕES  
SEMAFORIZADAS DA REGIÃO CENTRAL DO MUNICÍPIO DE JOÃO  
MONLEVADE.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para aprovação na Disciplina “Trabalho de Conclusão de Curso II”.

**Orientador (a):** *Prof.<sup>a</sup> Dra. Mônica do Amaral*

João Monlevade

2017



### ATA DE DEFESA

Aos seis dias do mês de setembro de dois mil e dezessete, às treze horas, na sala E202 deste instituto, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso pelo aluno **Matheus Lucas de Melo Santos**, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores Mônica do Amaral, Daysemara Maria Cotta e Thairone Ezequiel de Almeida. A aluna apresentou o trabalho intitulado **“Utilização da simulação computacional para análise do fluxo de veículos em um cruzamento com interseções semaforizadas da região central do município de João Monlevade”**. A comissão examinadora deliberou, pela:

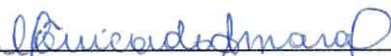
- Aprovação
- Aprovação com Ressalva - Prazo concedido para as correções:
- Reprovação com Ressalva - Prazo para marcação da nova banca:

\_\_\_\_\_

Reprovação

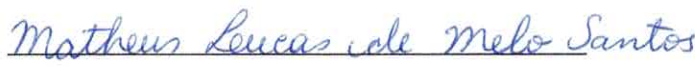
do aluno, com a nota 10,0 (dez vírgula zero). Na forma regulamentar e seguindo as determinações da resolução COEP 04/2017 foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da comissão examinadora e pelo aluno.

João Monlevade, 6 de Setembro de 2017.

  
Mônica do Amaral - Orientadora

  
Daysemara Maria Cotta - Convidada

  
Thairone Ezequiel de Almeida - Convidado

  
Matheus Lucas de Melo Santos – Aluno



## TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado “UTILIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DO FLUXO DE VEÍCULOS EM UM CRUZAMENTO COM INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS DA REGIÃO CENTRAL DO MUNICÍPIO DE JOÃO MONLEVADE” é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem o devido referenciamento ou consentimento dos referidos autores.

João Monlevade, 10 de Outubro de 2017.

*Matheus Lucas de Melo Santos*  
\_\_\_\_\_  
MATHEUS LUCAS DE MELO SANTOS



## AGRADECIMENTOS

*Agradeço em primeiro lugar a Deus e aos meus avós, os quais foram elementos essenciais e sinônimos de caráter, compaixão e humildade durante toda a minha vida acadêmica. Que esta conquista simbolize todo o meu amor e carinho por vocês.*

*Reconheço também o empenho e suporte de meus pais nesta conquista. Agradeço profundamente por todo o incentivo e preocupação comigo. E que esta realização seja somente o início de grandes êxitos.*

*À minha irmã Grasielle pelo companheirismo e motivação durante toda a minha trajetória na Universidade.*

*Agradeço também aos meus familiares e amigos que viveram e sofreram comigo nos momentos bons e ruins.*

*À Universidade Federal de Ouro Preto por todo auxílio financeiro, educacional e psicológico oferecido.*

*Por fim, agradeço a todos os professores que contribuíram para a minha formação, em especial à professora Mônica do Amaral pela orientação, paciência, solicitude e ensinamentos, os quais foram primordiais para a realização deste trabalho.*

*Obrigado!*

## RESUMO

O crescente aumento da frota de veículos em diversas cidades brasileiras vem contribuindo para o surgimento de um caótico fluxo de trânsito caracterizado por congestionamentos, filas intermináveis de veículos e até mesmo acidentes. Sabe-se que muitas cidades não são projetadas conforme um planejamento urbano de tráfego, o que torna difícil modificar as estruturas urbanas já existentes. Neste sentido, o uso de novas tecnologias, como a simulação computacional demonstra ser uma alternativa viável para analisar, controlar e otimizar a problemática envolvendo o caótico fluxo de veículos nas diversas cidades. Portanto, o presente trabalho utiliza da tecnologia da simulação computacional por meio do *software Arena* para simular e analisar o fluxo de veículos em um cruzamento com interseções semaforizadas da região central da cidade de João Monlevade em Minas Gerais. Três cenários foram investigados a fim de explorar alternativas com potencial de melhoria do sistema real. Conclui-se que o Cenário 3 propicia resultados muito mais eficientes e homogêneos à realidade do sistema, oferecendo assim um modelo viável de estudo.

**Palavras-chave:** Simulação Computacional, Fluxo de Veículos, *Arena*.

## **ABSTRACT**

*The increase in the number of vehicles in several Brazilian cities has contributed to the emergence of a chaotic traffic flow, which is characterized by traffic jams, endless queues of vehicles and even accidents. It is known that many cities are not designed according to urban traffic planning, which makes it difficult to modify existing urban structures. In this context, the use of new technologies such as computer simulation proves to be a viable alternative to analyze, control and optimize the problematic involving the chaotic flow of vehicles in many cities. Therefore, the present work uses computational simulation technology through the Arena software to simulate and analyze the flow of vehicles at an intersection controlled by traffic lights. The intersection is in a city in Minas Gerais state. Three scenarios were investigated to explore alternatives with potential to improve the real system. It is concluded that Scenario 3 provides much more efficient and homogeneous results to the real system, thus offering a viable study model.*

**Keywords:** *Computer simulation, Traffic flow, Arena.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Metodologia para Modelagem e Simulação .....	19
Figura 2 - Etapas de execução do trabalho .....	20
Figura 3 – Metodologia de Simulação.....	25
Figura 4 - Representação do cruzamento em estudo .....	30
Figura 5 - Cenário real do cruzamento em estudo e suas características .....	31
Figura 6 - Tempo de ciclo real de cada semáforo.....	33
Figura 7 - Modelo Conceitual adotado .....	43
Figura 8 - Animação do modelo computacional .....	44
Figura 9 - Modelo computacional do fluxo de veículos desenvolvido no Arena.....	45
Figura 10 - Modelo de controle dos semáforos desenvolvido no Arena .....	45



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatísticas descritivas dos dados da VIA 1 .....	37
Tabela 2 - Estatísticas descritivas dos dados da VIA 2 .....	37
Tabela 3 - Estatísticas descritivas dos dados da VIA 3 .....	38
Tabela 4 - Critérios usuais para classificação do p-value.....	40
Tabela 5 - Histogramas e ajustes de distribuição do conjunto de dados da VIA 1, 2 e 3.....	41
Tabela 6 – Número médio e máximo de veículos em fila no cenário base .....	47
Tabela 7 - Tempo de espera médio e máximo de veículos em fila no cenário base.....	47
Tabela 8 – Comparativo Cenário tempo de verde maior x Cenário base .....	48
Tabela 9 - Parâmetros alterados nos cenários estudados .....	49
Tabela 10 – Resultados obtidos com o cenário 1 .....	49
Tabela 11 – Resultados obtidos com o cenário 2 .....	51
Tabela 12 - Resultados obtidos com o cenário 3 .....	52
Tabela 13 – Comparativo do NMV do cenário base com o cenário 3.....	55

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Box Plot da amostra da VIA 1 .....	35
Gráfico 2 - Diagrama de dispersão das observações da VIA 1 .....	39
Gráfico 3 - Comparativo do TE do cenário base com o cenário 1 .....	50
Gráfico 4 - Comparativo do TE do cenário base com o cenário2 .....	51
Gráfico 5 - Comparativo do NV do cenário base com o cenário 2 .....	52
Gráfico 6 - Comparativo do TE do cenário base com o cenário 3 .....	53
Gráfico 7 - Comparativo do NV do cenário base com o cenário 3 .....	53
Gráfico 8 - Comparativo geral do TE do cenário base com os demais cenários estudados .	54
Gráfico 9 - Comparativo geral NMV do cenário base com os demais cenários estudados..	54

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	O problema tratado .....	14
1.2	Objetivos .....	15
1.2.1	Objetivo Geral .....	15
1.2.2	Objetivos Específicos .....	16
1.3	Justificativa .....	16
1.4	Estrutura do trabalho.....	17
2	METODOLOGIA.....	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
3.1	Engenharia de Tráfego.....	20
3.2	Simulação.....	22
3.2.1	Terminologias básicas utilizadas na simulação a eventos discretos.....	23
3.2.2	Metodologia para o desenvolvimento de um modelo de simulação.....	24
3.3	Softwares de simulação .....	26
3.4	Simulação do fluxo de tráfego de veículos .....	27
4	DESENVOLVIMENTO.....	29
4.1	Objeto de Estudo.....	29
4.2	Modelagem dos dados de entrada .....	32
4.2.1	Coleta de dados.....	32
4.2.2	Tratamento dos dados .....	34
4.2.3	Inferência e teste de aderência.....	40
4.3	Modelo conceitual.....	42
4.4	Modelo computacional .....	43
5	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	45
5.1	Testes Computacionais .....	45

5.2	Cenário Base .....	46
5.2.1	Verificação e Validação.....	46
5.2.2	Análise do Cenário Base.....	47
5.3	Cenários .....	48
5.3.1	Cenário 1 .....	49
5.3.2	Cenário 2 .....	50
5.3.3	Cenário 3 .....	52
6	CONCLUSÃO.....	55
	REFERÊNCIAS .....	57

# 1 INTRODUÇÃO

Observa-se, no Brasil e em países de terceiro mundo, um rápido crescimento da frota de veículos em circulação. A Confederação Nacional do Transporte (CNT) afirma em seu anuário de 2017, que desde 2001 a frota de veículos no país aumentou em 194,1%. Considerando o período mais recente de 2015 a 2016, tem-se que a frota de veículos totalizava 90,7 milhões em 2015 e 95,9 milhões em 2016 representando uma diferença expressiva de 5,2 milhões em um intervalo de apenas um ano (CNT, 2017)

Como consequência desse crescimento, tem-se uma crise de mobilidade presente no dia a dia do brasileiro. Este cenário do caos da mobilidade urbana compreende congestionamentos, filas intermináveis de veículos nas rodovias e nas cidades, acidentes e mortes, motoristas impacientes, passageiros descontentes à espera de um ônibus que nunca passa, e diversos outros fatores que só contribuem para a insatisfação da população.

Deste modo, o crescimento notável da frota de veículos é um fato inegável, com o qual as diversas cidades brasileiras necessitam lidar. Para tal, existem diversas ações, recursos, e ferramentas para lidar com o problema. No entanto, nem todos os problemas de trânsito são solucionáveis. É o caso de vários países do terceiro mundo e até mesmo em países desenvolvidos, onde muitas das cidades não são projetadas conforme os princípios do planejamento urbano de tráfego, tornando difícil modificar as vias de tráfego urbano já existentes, devido à falta de espaço físico, recursos financeiros, patrimônio histórico e etc. (KAMRANI; ABADI; GOLROUDBARRY, 2014).

Nesta situação, o uso de novas tecnologias demonstra ser uma alternativa viável para analisar, controlar e otimizar o planejamento de mudanças a fim de promover melhorias no fluxo de veículos nas diversas cidades. A simulação computacional é um exemplo dentre as demais tecnologias existentes no campo da engenharia, que permite tirar conclusões a respeito do

problema sem causar perturbações no sistema real. O que acarreta na redução de custos, em uma flexibilidade de análise do sistema real e, principalmente, a eliminação de qualquer intervenção de mudança física no planejamento urbano de tráfego existente.

Portanto, o presente trabalho utiliza da tecnologia da simulação computacional por meio do *software Arena* para simular e analisar o fluxo de veículos em um cruzamento com interseções semaforizadas da região central de um município de Minas Gerais.

## **1.1 O problema tratado**

O crescente número de veículos no município de João Monlevade (MG) vem se tornando um dos fatores que contribui para o conturbado trânsito da cidade. Conforme estatísticas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2017), em dezembro de 2011 o município detinha um número de 30.363 veículos. Dados de dezembro de 2016 mostram que esse número aumentou para 41.003 veículos, o que representa uma taxa de crescimento de 35% nos últimos 6 anos. Em uma análise mais criteriosa do período, evidencia-se uma taxa média de crescimento anual de aproximadamente 5% na frota de veículos do município.

A cidade de João Monlevade pertence a região do Médio Piracicaba juntamente com outras 16 cidades, e se configura, ao lado do município de Itabira, como as duas principais cidades da região. Com uma população estimada de 79.100 habitantes, o município possui uma média de um veículo para cada dois habitantes, um resultado bastante expressivo em se tratando de uma cidade do interior de Minas Gerais (IBGE, 2017).

Diversos fatores estão relacionados a esse aumento da frota de veículos no município. Inicialmente, tem-se que a economia do município se baseia no setor industrial, principalmente pela presença da indústria siderúrgica ArcelorMittal. Esse setor lida diariamente com a terceirização, contratando várias empresas terceirizadas para a prestação de serviço, gerando assim mais postos de trabalho, e atraindo profissionais de cidades

próximas ao município, e que por consequência influencia diretamente no aumento do número de veículos na cidade.

Ressalta-se também um aumento da renda *per capita* média de João Monlevade, que cresceu 103,93% nas últimas duas décadas, passando de R\$ 355,22, em 1991, para R\$ 476,85, em 2000, e para R\$ 724,40 em 2010 conforme o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento no Brasil (2017). Este fato pode ter potencialmente contribuído a um maior poder aquisitivo das pessoas para a compra de novos veículos.

Observa-se no município de João Monlevade um tráfego de veículos bastante desordenado, situado principalmente no centro da cidade, e em locais específicos como intersecções e cruzamentos. Em decorrência disso, tem-se uma lentidão no fluxo de veículos, congestionamento das vias de trânsito, acidentes envolvendo veículos e pedestres, além de consequências nocivas ao ambiente, como poluição sonora e atmosférica. É notável a diminuição da capacidade da arquitetura e infraestrutura urbana da cidade em escoar o fluxo intenso de veículos.

Neste sentido, o presente estudo faz uso da técnica de simulação computacional para analisar o fluxo de veículos em uma intersecção semaforizada do município de João Monlevade, a qual exhibe as características da problemática descrita, e possivelmente propor parâmetros e cenários de melhoria ao problema tratado por este trabalho.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Analisar o tráfego de veículos por meio da simulação computacional em um cruzamento com intersecções semaforizadas da região central do município de João Monlevade.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Definir o problema estudado;
- Coletar e analisar dados do tráfego de veículos e do tempo de ciclo dos semáforos do cruzamento com interseções semaforizadas;
- Elaborar um modelo conceitual demonstrando as relações entre todas as entidades, os parâmetros necessários e demais aspectos essenciais para a construção do modelo computacional;
- Desenvolver um modelo computacional com base no modelo conceitual criado;
- Criar cenários a serem simulados;
- Concluir a pesquisa por meio dos cenários simulados.

### 1.3 Justificativa

O trabalho se justifica pela ausência de estudos voltados a entender a real situação do trânsito de veículos na cidade de João Monlevade, onde o crescimento da frota de veículos vem acarretando em um aumento do fluxo de veículos. Enxerga-se neste estudo, um subsídio de auxílio ao Setor de Trânsito e Tráfego de João Monlevade (SETTRAN - JM) a fim de ajudá-los a mitigar o problema.

Na literatura nacional, encontram-se poucos estudos voltados a utilização da simulação computacional no contexto de trânsito, tráfego e fluxo de veículos. Deste modo, justifica-se o desenvolvimento deste estudo como uma oportunidade de enriquecer a literatura da área, com mais um trabalho científico, além de mostrar em uma perspectiva prática que a técnica da simulação possui grande utilidade em sistemas distintos do contexto da manufatura.

Além disso, a Engenharia de Produção proporciona ferramentas capazes de auxiliar na tomada de decisão, como é o caso do *software Arena*, utilizado no presente trabalho. Por este motivo, tem-se neste estudo a oportunidade de alinhar o conhecimento acadêmico teórico com as ferramentas de execução da prática do campo da engenharia.



## **1.4 Estrutura do trabalho**

O presente trabalho está dividido em seis seções. Na primeira seção, apresenta-se a introdução, o problema tratado, seus objetivos, a sua justificativa e a estrutura do trabalho. Na segunda seção, apresenta-se a metodologia de trabalho. Com o intuito de contextualizar e consolidar os conhecimentos que envolvem a pesquisa, tem-se na terceira seção, uma breve revisão bibliográfica. Na quarta seção, desenvolve-se a pesquisa, abordando o objeto de estudo, a modelagem dos dados, o modelo conceitual e computacional adotado. Por fim, na quinta e na sexta seções, encontram-se a análise dos resultados obtidos e a conclusão do trabalho.

## **2 METODOLOGIA**

Encontram-se, na literatura inúmeras, abordagens para classificar pesquisas e descrever o método científico utilizado no desenvolvimento de um estudo. O intuito está na identificação do tipo de pesquisa desenvolvida em detrimento à sua abordagem, natureza, objetivos e procedimentos, que se adeque eficazmente ao objetivo almejado.

A presente pesquisa pode ser classificada sob duas formas: quanto a sua abordagem e quanto a sua natureza. Quanto a sua abordagem, a pesquisa é quantitativa, por enfatizar os aspectos mensuráveis onde os resultados obtidos podem ser quantificados. Segundo Fonseca (2002) esta abordagem utiliza da linguagem matemática para retratar as causas de um fenômeno, analisar as relações de causa e efeito existentes entre as variáveis, eliminar o subjetivismo na apreensão e interpretação dos dados, e etc.

Verifica-se na pesquisa de caráter quantitativo a existência de pouca interferência do pesquisador nas variáveis de estudo (MARTINS, 2010). Ademais, a abordagem quantitativa preocupa-se com 4 aspectos principais: mensurabilidade, causalidade, generalização e replicação (BRYMAN, 1989 apud MARTINS, 2010).

Em relação a natureza da pesquisa, classifica-se este estudo como uma pesquisa descritiva, uma vez que é necessário, por parte do investigador, coletar, manipular e analisar uma gama de informações sobre o ambiente a ser estudado. A pesquisa descritiva vem por meio de técnicas padronizadas de coleta de dados (GIL, 2008) descrever as características, fatos e fenômenos de uma determinada realidade (TRIVIÑOS, 1987).

No campo da gestão de produção e operações, diversos acadêmicos classificam as pesquisas baseadas em modelos quantitativos segundo duas classes distintas: axiomática e empírica (BERTRAND e FRANSOO, 2002). Ambas classes ainda podem ser conciliadas com as classificações de pesquisas nomeadas descritivas ou normativas.

Conforme Morabito e Pureza (2010) a pesquisa axiomática estuda um problema idealizado, formula teorias a partir dele, e utiliza recursos computacionais, matemáticos e estatísticos na modelagem proposta. Morabito e Pureza (2010) ainda afirmam que a preocupação do pesquisador nesta classe está voltada na obtenção de soluções para o modelo estudado assegurando que tais soluções venham auxiliar na compreensão da estrutura do problema descrito no modelo. Em contrapartida, a pesquisa empírica é guiada por descobertas e medidas empíricas onde a preocupação principal do pesquisador é assegurar uma adesão entre observações e ações na realidade.

A partir das classificações abordadas no contexto da gestão de produção e operações, classifica-se o presente estudo como uma pesquisa empírica descritiva de caráter quantitativo. O objetivo está em entender o processo modelado de modo a explicar as características do sistema. Esta classificação permite descrever e compreender o comportamento do sistema e de certas variáveis do modelo a fim de possibilitar a manipulação dos elementos que compõem o sistema estudado.

O desenvolvimento do modelo de simulação fundamentou-se no método de Chwif e Medina (2010), descrito no tópico 4.3.2. De forma análoga, no contexto da Pesquisa Operacional (PO) diversos autores abordam metodologias de PO na resolução de problemas, e que podem ser prontamente aplicadas a modelos de simulação. Por exemplo, tem-se o diagrama proposto por Mitroff *et al.* (1974 apud BERTRAND e FRANSOO, 2002), conforme a Figura 1, representando um modelo metodológico de pesquisa para a PO.

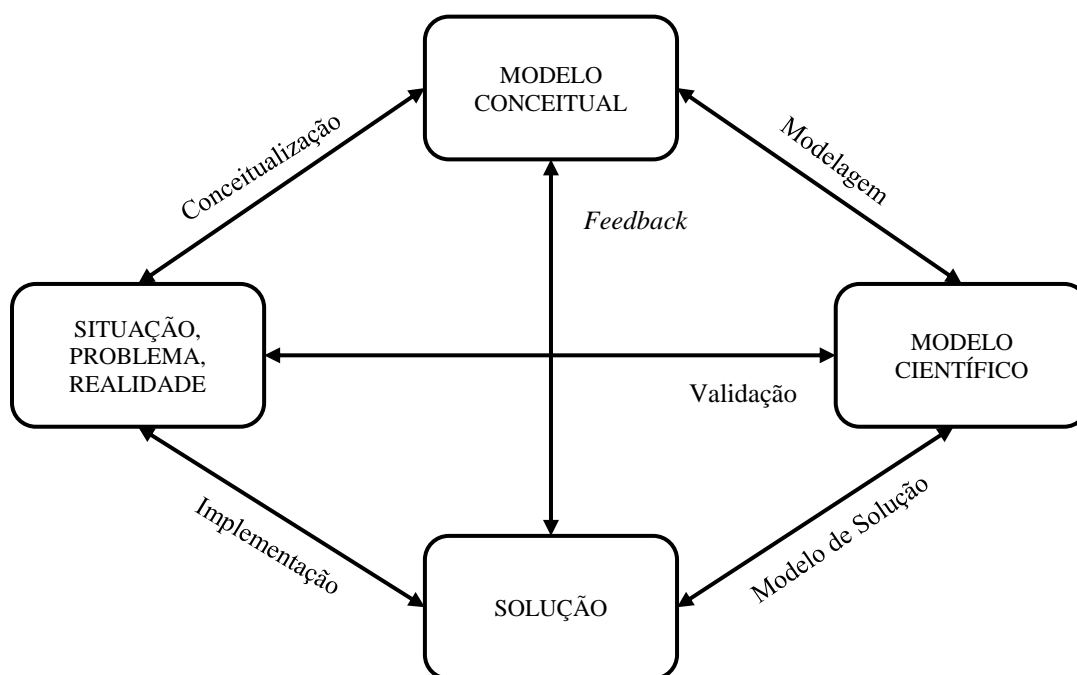


Figura 1 - Metodologia para Modelagem e Simulação

A metodologia de Mitroff *et al.* (1974) compreende 4 fases: conceitualização, modelagem, modelo de solução, e implementação. Na fase de conceitualização desenvolve-se um modelo conceitual capaz de representar o sistema a ser simulado computacionalmente. Tomam-se em consideração, nesta fase, as variáveis relevantes ao problema, bem como o desenvolvimento do escopo do sistema estudado. Na fase de modelagem, cria-se um modelo quantitativo, em que as relações de causa e efeito entre as variáveis são descritas. Na etapa de solução, tem-se o processo de obtenção de uma solução para o modelo científico. E, por fim, verifica-se a fase de implementação, onde a solução obtida é aplicada na realidade. Além

disso Mitroff *et al.* (1974) explanam os processos de *feedback* e validação. O primeiro busca assegurar uma coerência entre a solução obtida e o modelo conceitual, e o segundo procura verificar se o modelo científico corresponde à realidade estudada.

Conforme já apresentado, observa-se que no desenvolver de pesquisas científicas, tem-se a existência de sequências lógicas de estágios, representando metodologias que servem de estrutura para a construção do estudo. Neste contexto, a execução como um todo do presente trabalho também acompanhou uma trajetória lógica de 9 etapas (E1, E2, E3, ..., E9) retratadas em um esquema conforme a Figura 2.

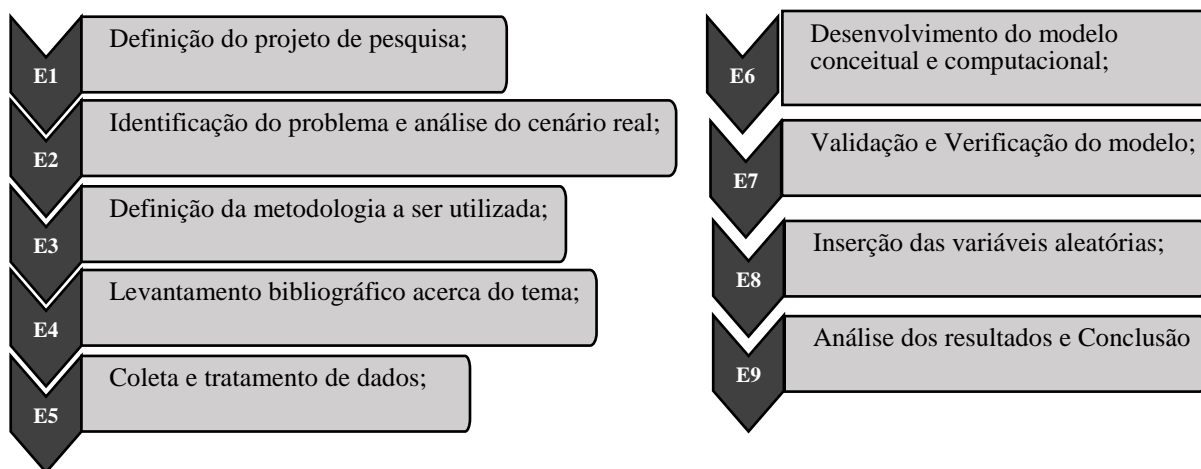


Figura 2 - Etapas de execução do trabalho

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Engenharia de Tráfego

Considerada por Soares (1975) uma ramificação da Engenharia Rodoviária ou uma subespecialização da Engenharia Civil, a Engenharia de Tráfego se fez presente desde o início do século XVII no contexto da civilização asteca, com suas construções robustas e principalmente pela construção de uma estrada incorporando elementos característicos da Engenharia do Tráfego, como uma faixa central separadora do tráfego e cores que contrastavam com a cor da pavimentação. No entanto, somente no fim do século XIX, com

o surgimento do automóvel, bem como a expansão do seu uso, é que o cenário da Engenharia de Tráfego começou a ser impulsionado, que os Estados Unidos identificaram uma necessidade de controlar e estudar cientificamente o tráfego desordenado que crescia rapidamente (SOARES, 1975).

Segundo o *Institute of Traffic Engineers* (apud SOARES, 1975), a Engenharia de Tráfego envolve o planejamento, o desenho geométrico das ruas, estradas e terrenos marginais, e operações de tráfego inerentes a sua utilização como o transporte de pessoas e mercadorias. Em uma definição mais genérica, Lacortt *et al.* (2013) conceituam a Engenharia de Tráfego como a ciência que estuda os elementos dos sistemas de tráfego de um modo geral, e que desta forma contribui para o planejamento e tomadas de decisões pertinentes às questões de trânsito.

A partir de uma visão mais técnica quanto a atuação de um Engenheiro de Tráfego, Cucci (2017) afirma que as atividades no contexto da Engenharia de Tráfego compreendem a elaboração de projetos de sinalização e o planejamento e organização do trânsito que incorpora o estudo da circulação, a hierarquização das vias, modificações no sistema viário, manutenção da sinalização, monitoramento do tráfego e, principalmente, o controle semafórico. Este último, é tido por Lacortt *et al.* (2013) como uma atividade de extrema importância, uma vez que o controle semafórico proporciona em termos de fluidez e segurança, um desempenho eficiente do tráfego. Assim, “é necessário ter conhecimento das principais características do trânsito pertencentes às vias, assim como, conceitos, técnicas e expressões que quantificam tais características” (LACORTT *et al.*, 2013, p. 360).

Em suma, verifica-se que a Engenharia do Tráfego surge como uma ciência que, por meio de processos técnicos, identifica as necessidades de tráfego e promove soluções eficientes para assegurar o rendimento das rodovias, ruas e do sistema viário como um todo, ao mesmo tempo que também visa garantir uma maior eficiência das potenciais instalações que venham surgir.

## 3.2 Simulação

Chwif e Medina (2010) classificam o termo simulação a partir de duas perspectivas: a simulação computacional e a simulação não computacional. A primeira classificação remete-se ao método de estudo deste trabalho, onde há a necessidade de um computador para ser desenvolvida. Já a simulação não computacional não demanda um computador para ser desenvolvida (CHWIF e MEDINA, 2010).

Como mencionado anteriormente, o presente estudo faz uso da simulação computacional. Há no meio acadêmico diversos conceitos a respeito do tema. A simulação, segundo Prado (1999, p. 93 apud Gaziero et al. 2014, p. 79), pode ser definida “como uma técnica para solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital”.

Freitas (2001 apud PEREIRA, 2006) afirma que a simulação envolve o emprego de técnicas matemáticas específicas, utilizadas em computadores digitais, com a finalidade de imitar o funcionamento de qualquer tipo de operação ou processo do mundo real em sua maioria. Deste modo, verifica-se que a simulação computacional é uma técnica para “imitar” a realidade, representá-la por meio de um modelo, conduzir experimentos com este modelo a fim de entender o seu comportamento, e explorar cenários e estratégias que viabilizem a operação do modelo.

Uma melhor compreensão técnica do conceito de simulação computacional demanda um entendimento dos conceitos de sistema e modelo. Segundo Schmidt e Taylor (1970 apud LAW, 2007) um sistema pode ser definido como um conjunto de entidades, pessoas ou máquinas, que se interagem com o intuito de cumprir algum contexto final lógico. Os sistemas são categorizados como discretos e contínuos. Um sistema discreto é aquele no qual as variáveis mudam instantaneamente em pontos definidos no tempo (LAW, 2007). Já em um sistema contínuo as variáveis de estado mudam continuamente ao longo do tempo (LAW, 2007). Um modelo na concepção de Chwif e Medina (2010) é uma esquematização

simplificada das várias interações existentes entre os elementos que compõem um sistema, sendo desta forma uma abstração da realidade que se aproxima do real comportamento do sistema, mas de forma simplificada.

Assim como os sistemas são categorizados em discretos e contínuos, tem-se a classificação da simulação a eventos discretos e contínuos. A simulação a eventos discretos se preocupa em analisar aqueles sistemas em que o estado das variáveis muda somente a partir da ocorrência de eventos instantâneos (PEREIRA, 2006). Além disso, essa categoria de simulação sempre descreve situações de fila, onde pessoas, clientes, material, produtos e etc., chegam, aguardam em fila caso necessário, são atendidos, e deixam o sistema. Neste sentido, tem-se a simulação a eventos contínuos, que consiste na modelagem de sistemas que dependem de variáveis que assumem valores contínuos no tempo, como o conjunto de números reais. Ressalta-se que o presente trabalho faz uso da simulação a eventos discretos.

### **3.2.1 Terminologias básicas utilizadas na simulação a eventos discretos**

Pereira (2006) apresenta em sua pesquisa as terminologias que são utilizadas no processo de simulação. O autor destaca que não há um padrão quanto a estas terminologias, no entanto as terminologias apresentadas abaixo estão presentes na grande maioria das simulações a eventos discretos.

- Modelo: representação esquemática de um sistema;
- Entidade: objeto de interesse em um sistema. É a parte circulante do modelo, percorrendo a lógica no fluxograma, interagindo com os recursos e sujeita à fila.
- Atributo: são as propriedades características de cada entidade;
- Estado: é um conjunto de variáveis necessárias para descrever o sistema num determinado instante;
- Eventos: Acontecimentos, programados, ou não, que quando acontecem provocam uma mudança de estado do sistema, por exemplo, a chegada de clientes;

- Recursos: podem ser entendidos como entidades estáticas que fornecem um serviço as entidades que circulam no modelo. São também os lugares em que as entidades permanecem durante um tempo no modelo sendo processadas ou esperando em fila. Como exemplos de recursos, tem-se máquinas ou funcionários;
- Filas: locais onde as entidades esperam para serem processadas. Após a entrada na fila as entidades podem ser processadas segundo critérios como FIFO (*First In First Out*) ou LIFO (*Last In First Out*);
- Contadores: variáveis que acumulam valores no tempo permitindo a medição estatisticamente do desempenho do sistema;
- Relógio de simulação: monitora o tempo de simulação.

### **3.2.2 Metodologia para o desenvolvimento de um modelo de simulação**

Dentre as atividades de estudo de simulação e para que este estudo seja bem-sucedido, Chwif e Medina (2010) propuseram uma metodologia envolvendo três grandes etapas, com subetapas cada uma, para o desenvolvimento de um modelo de simulação, como mostrado na Figura 3.

A primeira etapa é a Concepção ou Formulação do modelo. Inicia-se, nesta etapa, a subetapa de entendimento por meio de reflexões e discussões do sistema a ser simulado e os seus objetivos. Tomam-se decisões referentes ao escopo do modelo, suas hipóteses e detalhes. A segunda subetapa é a coleta de dados. Ressalta-se que o modelo é que deve dirigir a coleta de dados, e não o contrário. Após a coleta de dados, tem-se a subetapa de transformar o modelo abstrato, modelo criado mentalmente, em um modelo conceitual, sendo o mesmo representado conforme alguma técnica de representação de modelos de simulação, a fim de facilitar o entendimento do modelo por terceiros envolvidos no estudo.

A segunda etapa, a Implementação, é o momento onde se converte o modelo conceitual em um modelo computacional. Para tal, utiliza-se de alguma linguagem de simulação, ou de um simulador comercial caracterizando assim, a subetapa de tradução do modelo. O modelo



traduzido deve, então, ser comparado com o modelo conceitual a fim de avaliar se o mesmo possui representatividade quando a sua operação frente ao que foi estabelecido na etapa de concepção. Deste modo, chega-se a subetapa de validação e verificação, quando, para se ter uma validação computacional, é necessário gerar dados verificando se o modelo representa fielmente a realidade.

A terceira e última etapa se denomina Análise. Nesta etapa, o modelo computacional já se encontra pronto para ser testado e para a realização dos experimentos. Inicia-se assim, a subetapa de experimentação do modelo, chamado agora de modelo operacional, quando se efetuam diversas “rodadas” do modelo para analisar e documentar os dados gerados. Se os resultados gerados não forem satisfatórios, o modelo pode ser modificado, reiniciando assim o ciclo metodológico do processo de desenvolvimento de um modelo de simulação.

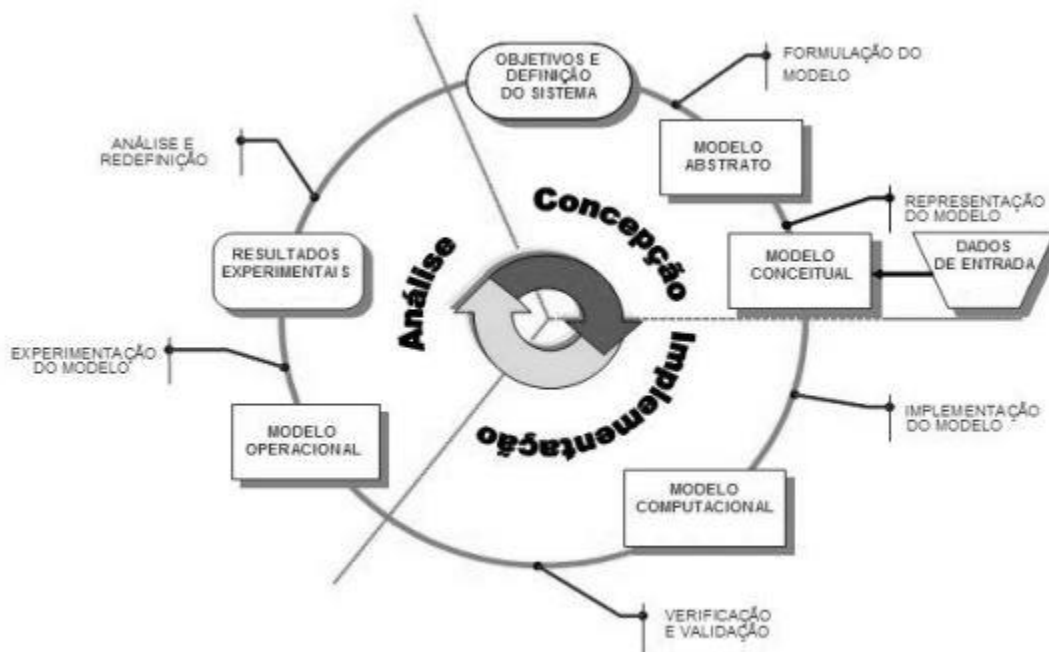


Figura 3 – Metodologia de Simulação

Fonte: Chwif e Medina (2010)

### 3.3 *Softwares de simulação*

No mercado da tecnologia computacional há diversos *softwares* de simulação disponíveis à comercialização para aplicações em áreas distintas. Estes *softwares* estão cada vez mais se tornando populares entre grandes empresas do ramo da indústria.

A popularidade destes *softwares* na atualidade pode ser atribuída à crescente evolução da tecnologia, acarretando no desenvolvimento de simuladores mais robustos e voltados ao estudo de problemas complexos (SAKURADA e MIYAKE, 2003).

As inúmeras ferramentas e mecanismos dispostos nestes simuladores reafirmam a popularidade dos mesmos bem como sua grande utilização nas empresas e universidades. Lobão e Porto (1999, apud OLIVEIRA, 2012, p. 14) relatam que “os simuladores apresentam características como interface gráfica de comunicação com usuário, modelos orientados a objeto, capacidade de animação do modelo, fornecimento de relatórios sobre a simulação e ferramentas estatísticas para tratamentos dos dados”.

Além de se considerar as características presentes em cada simulador, a escolha do *software* adequado a ser utilizado se alinha também à escolha do *hardware* que abrigará este *software*, uma vez que a seleção adequada de ambos influencia diretamente no tempo total de um estudo de simulação (CHWIF e MEDINA, 2010).

Segundo um levantamento publicado pela revista eletrônica *OR/MS Today* (2015), mantida pelo *Institute for Operations Research and Management Sciences - INFORMS*, há 55 *softwares* de simulação no mercado. Entre esses produtos, destacam-se o *Arena* e o *ProModel* como sendo os simuladores mais utilizados e difundidos no meio empresarial e, principalmente, acadêmico.

Considerada a ferramenta para simulação de eventos discretos mais utilizada no mundo, o *software Arena* possui um ambiente gráfico integrado e recursos que permitem a análise estatística de dados, modelagem de processos, animação e análise de resultados (PARAGON DECISION SCIENCE, 2017). O *software* é desenvolvido pela *Rockwell Automation* e comercializado no Brasil pela *Paragon Decision Science*. O *Arena* se baseia na linguagem de simulação SIMAN, no entanto, não é necessário que se conheça a linguagem, pois a construção do modelo é feita por meio da seleção de blocos editáveis contendo as características do processo a ser modelado (SAKURADA e MIYAKE, 2003). Desta forma, o modelador pode extrair um módulo, identificá-lo no sistema e parametrizá-lo (SAKURADA e MIYAKE, 2003).

O *ProModel* é um *software* desenvolvido pela *ProModel Corporation* e voltado a modelagem de sistemas de manufatura, mas considerado aplicável em sistemas de fabricação flexíveis e sistemas de cadeia de suprimentos. O simulador é um sistema baseado em *Windows* com uma interface gráfica intuitiva e modelagem orientada a objetos eliminando a necessidade de programação (BENSON, 1997). Possui uma flexibilidade de programação bastante considerável, além de recursos que permitem a realização de análises estatísticas, utilização eficiente de recursos, e otimização e melhoria de processos.

### **3.4 Simulação do fluxo de tráfego de veículos**

A simulação do fluxo de tráfego de veículos vem ganhando uma forte representatividade no âmbito acadêmico. Inúmeras pesquisas voltadas a este tema podem ser encontradas nas principais plataformas virtuais de periódicos, artigos e trabalhos acadêmicos.

Estes estudos, em sua maioria, permeiam a área da engenharia de tráfego e mobilidade, e possuem propostas variadas. Verificam-se estudos voltados à análise do fluxo de veículos em interseções, cruzamentos, rotatórias e demais vias em específico que visam à implantação de semáforos, a otimização do tempo de filas e diminuição de congestionamento em vias de

trânsito, e a análise da configuração dos tempos de ciclo dos semáforos em locais com um fluxo intenso de veículos.

Utilizando a simulação computacional para a tomada de decisões, Muniz *et al.* (2009) desenvolveram um modelo de simulação computacional para o cruzamento com interseções semaforizadas no centro da cidade de Mariana, localizada no estado de Minas Gerais. O objetivo foi entender a real situação do tráfego neste local e propor novas configurações de tempo de ciclo dos semáforos para viabilizar o trânsito de pessoas, veículos e materiais. A simulação possibilitou um novo dimensionamento dos semáforos melhorando as condições de tráfego no cruzamento.

Em um mesmo contexto, Gaziero *et al.* (2014) apoiaram-se na simulação computacional e aos indicadores de teoria das filas para estudar o comportamento do fluxo de veículos em uma interseção semaforizada em uma cidade do Rio Grande do Sul. Os pesquisadores realizaram os cálculos para obtenção dos indicadores de teoria das filas e verificaram que o método não é o mais indicado para analisar o comportamento de semáforos, visto que a teoria das filas não considera os tempos que o semáforo está fechado para os cálculos do tempo de espera e o tamanho da fila. Deste modo, Gaziero *et al.* (2014), aplicaram a simulação para analisar a problemática criando 2 cenários: inclusão de uma nova pista em um sentido da interseção, e uma nova configuração semaforizada. Com os cenários propostos, os pesquisadores obtiveram resultados satisfatórios, como por exemplo, uma redução no tempo médio de espera na fila, que passou de 24,83 segundos para 17,92 segundos.

A versatilidade do método da simulação computacional se mostra muito presente na simulação de trânsito. Neste cenário, Baptista e Rangel (2013) apresentam em seus estudos uma integração entre um modelo de Simulação a Eventos Discretos (SED) de uma via urbana semaforizada e um sistema de controle automatizado. Utilizando um Controlador Lógico Programável, Baptista e Rangel (2013) obtiveram a integração e comunicação do modelo de SED a um sistema de controle automático operado em tempo real. Assim, por meio de três cenários de estado de trânsito (Trânsito Livre, Trânsito Regular, e Trânsito Congestionado),

os autores avaliaram o comportamento do fluxo de veículos em tempo real, com o acionamento dos semáforos ocorrendo de forma automatizada.

Encontram-se muitos estudos voltados à otimização semafórica, no sentido de propor a implantação de semáforos em locais onde existem essa demanda. Kamrani; Abadi; Golroudbarry (2014) simularam o tráfego de duas junções adjacentes em forma de “T” durante horários de pico. Ambas as junções não são controladas por semáforos. Cabe a um agente de trânsito direcionar o tráfego de veículos. De posse dos resultados, os pesquisadores identificaram a necessidade de implantação de um semáforo em uma das junções e reformularam o modelo computacional incorporando a lógica de um semáforo. Com o novo modelo, o tempo médio de espera dos veículos caiu 67% na junção onde o semáforo foi instalado, e de forma geral o tempo médio de espera na fila em todo o sistema diminuiu em 53%.

Em um mesmo cenário, os pesquisadores iranianos Kamran; Ramezan; Masoumzadeh; Nikkhoo (2017), por meio de uma perspectiva um pouco diferente, identificaram via simulação a necessidade de substituição de um semáforo de três tempos por um de quatro tempos. Neste aspecto, a simulação computacional foi de grande importância, pois além de propiciar a identificação de um melhor tipo de semáforo a ser adotado, permitiu que uma melhor configuração dos tempos neste semáforo fosse encontrada, o que minimizou o tempo médio gasto pelos veículos no sistema.

## **4 DESENVOLVIMENTO**

### **4.1 Objeto de Estudo**

O foco deste trabalho é simular o fluxo de veículos de um cruzamento com interseções semaforizadas. As interseções são compostas pelo cruzamento da Rua Armando Batista, que

tem sentido único, com a Avenida Wilson Alvarenga, que tem fluxo nos dois sentidos, como mostrado na Figura 4.

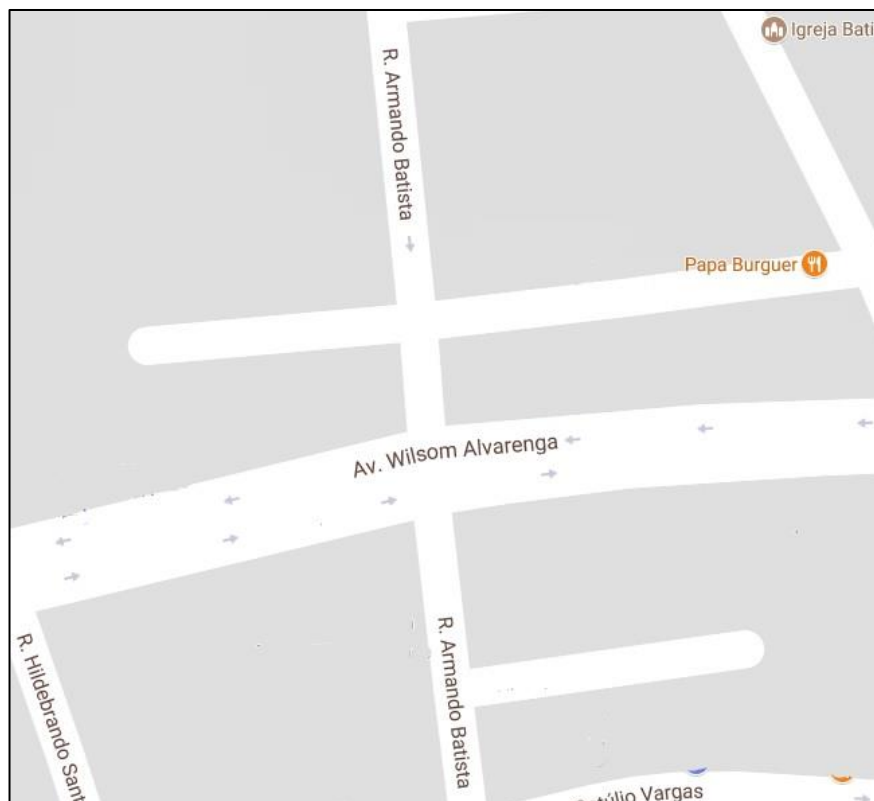


Figura 4 - Representação do cruzamento em estudo

Fonte: Google Maps (2017)

Esta intersecção é um dos principais pontos do centro da cidade de João Monlevade onde há um fluxo intenso de veículos e pedestres, principalmente no início da manhã e no fim da tarde. Observaram-se, no horário de pico, filas com mais de 10 veículos e congestionamentos gerando um escoamento muito lento de veículos nas vias de trânsito.

O cenário real do cruzamento retratado na Figura 5, exibe as principais características do sistema simulado e o comportamento do fluxo de veículos. Para uma melhor compreensão do sistema, nomeou-se o sentido oeste da Avenida Wilson Alvarenga como VIA 1 e o sentido leste como VIA 2. Já a Rua Armando Batista foi nomeada como VIA 3.

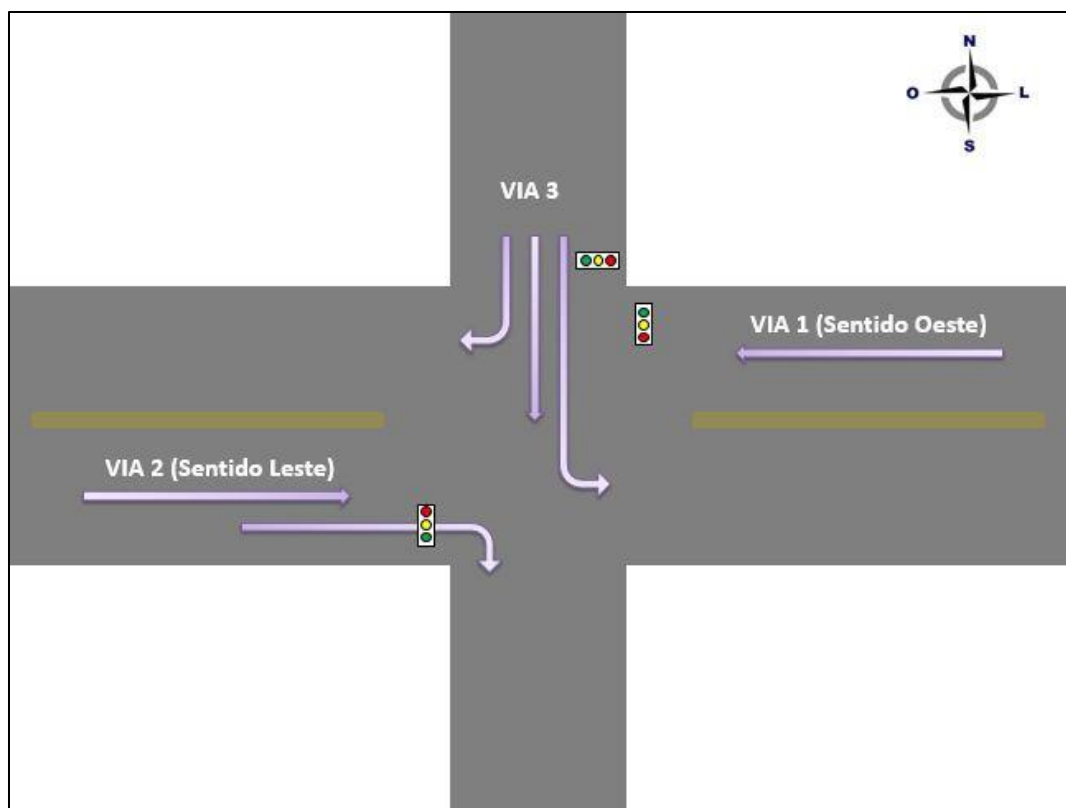


Figura 5 - Cenário real do cruzamento em estudo e suas características

Observando a figura, verifica-se que cada via possui um semáforo regularizando o fluxo de veículos. Os sentidos de convergências do fluxo de veículos também podem ser identificados conforme as direções das setas. Na VIA 1, o fluxo de veículos segue um sentido único, para Oeste, e na VIA 2, o sentido observado é contrário a VIA 1, para Leste, com a possibilidade de o veículo seguir em frente ou convergir a sua direita junto ao fluxo da VIA 3. Na VIA 3, os veículos podem seguir em frente, convergir no sentido do fluxo da VIA 1 ou podem convergir no sentido do fluxo da VIA 2.

## **4.2 Modelagem dos dados de entrada**

Nesta seção, é feita a modelagem dos dados de entrada, cujo o intuito é a obtenção de modelos probabilísticos que possibilitam inferir sobre o fenômeno aleatório que ocorre no sistema. No sistema em estudo o fenômeno aleatório envolve “de quanto em quanto tempo um veículo chega nos semáforos de um cruzamento composto por 3 vias”. Portanto, o processo de modelagem dos dados de entrada deste sistema compreende as etapas de: Coleta de dados, Tratamento dos dados e Inferência.

### **4.2.1 Coleta de dados**

A coleta de dados obedeceu, a princípio, a escolha das variáveis de entrada do sistema, as quais foram:

- O tempo entre chegadas sucessivas dos veículos nos respectivos semáforos;
- O tempo de ciclo dos semáforos;
- O percentual de veículos que convergem nos sentidos permitidos do cruzamento após o atravessamento dos semáforos;

Uma vez definidas as variáveis de entrada; identificaram-se quais seriam os horários mais adequados e representativos para a coleta de dados, visto que a chegada de veículos no cruzamento com interseções semaforizadas em estudo exibe um comportamento diferente para cada momento do dia e para cada intervalo de dias da semana.

Observou-se que os horários de maior fluxo de veículos correspondem aos horários de 17:00 às 18:30 horas. Este horário apresenta grandes filas de espera, pois conta, em sua maioria, com um grande número de veículos de trabalhadores deixando o expediente de trabalho. Quanto à definição dos dias da semana para a coleta de dados, escolheram-se os dias de terça, quarta e quinta-feira. Esses são os dias considerados de maior fluxo de veículos. Os demais dias foram descartados, pois sexta-feira e segunda-feira são dias próximos ao fim de semana,



que, juntamente ao sábado e domingo, demonstram um comportamento atípico de fluxo de veículos.

A coleta dos tempos entre chegadas sucessivas em cada semáforo foi realizada manualmente. Coletaram-se 400 tempos para cada semáforo. Os tempos de operação dos semáforos foram obtidos junto ao Secretaria de Trânsito e Transportes de João Monlevade (SETTRAN – JM). As configurações dos tempos de vermelho, amarelo e verde para cada semáforo de cada via obedecem a horários específicos do dia. O cenário real simulado considerou o horário de pico (17:00 horas às 18:30 horas). Neste período, a configuração dos semáforos é estabelecida conforme a Figura 6. Nota-se que o tempo de ciclo de cada semáforo totaliza 100 segundos.

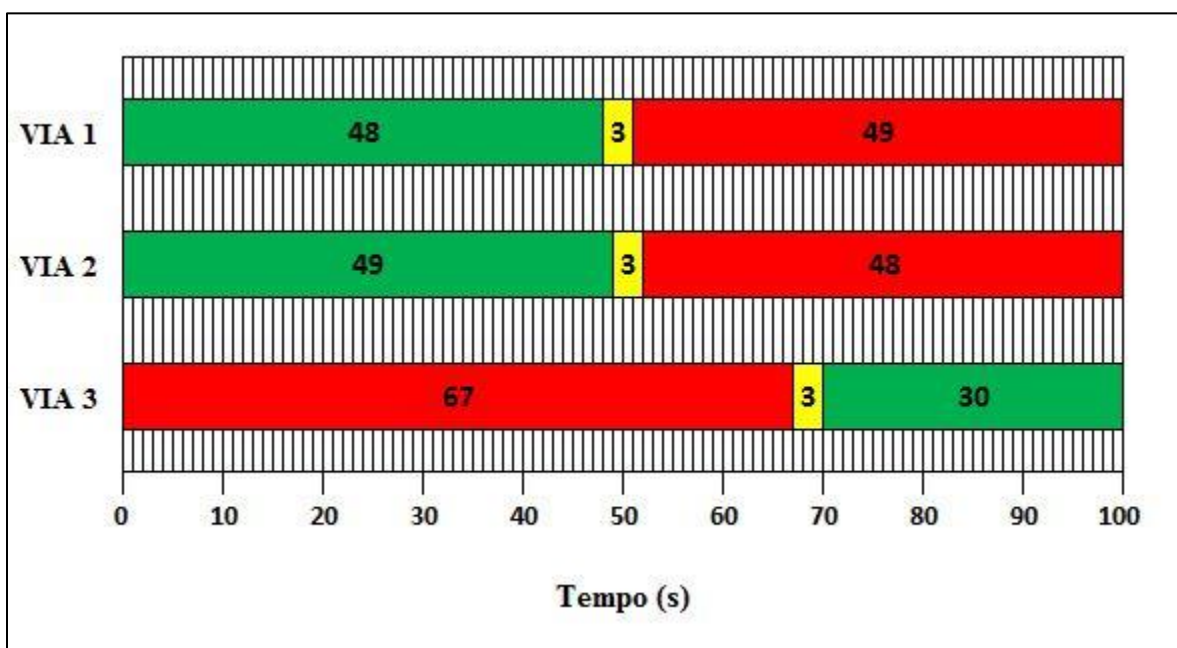


Figura 6 - Tempo de ciclo real de cada semáforo

Em relação ao percentual de veículos convergindo nas direções permitidas do cruzamento após o atravessamento dos semáforos, utilizou-se do recurso de gravações em vídeo na obtenção destes percentuais. Identificaram-se para cada sentido, os valores obtidos conforme

descritos nos quadros 1 e 2. Ressalta-se que somente as vias 2 e 3 possuem opções de escolha de convergência de fluxo.

VIA 2	
Convergência (sentido)	Percentual
Sentido contínuo da VIA 2	83%
Sentido VIA 3	17%

Quadro 1 - Valores percentuais de conversão dos veículos da VIA 2 nos sentidos permitidos após o cruzamento

VIA 3	
Convergência (sentido)	Percentual
Sentido contínuo da VIA 3	45%
Sentido VIA 1	32%
Sentido VIA 2	23%

Quadro 2 - Valores percentuais de conversão dos veículos da VIA 3 nos sentidos permitidos após o cruzamento

## 4.2.2 Tratamento dos dados

Esta etapa da modelagem envolve compreender melhor o fenômeno do sistema por meio de uma estatística descritiva dos dados. Assim, com o auxílio do *software* estatístico *Minitab* 16, identificaram-se os valores não usuais (*Outliers*), bem como as medidas de dispersão e posição para cada conjunto de dados dos tempos entre chegadas sucessivas dos veículos nos semáforos nas respectivas vias de acesso.

### 4.2.2.1 Detecção de Outliers

Inicialmente, utilizou-se na detecção dos outliers a técnica de análise gráfica por meio do gráfico *box-plot*. O gráfico faz uso do método de construção de um intervalo de valores a

partir dos quartis da amostra. Tem-se que os valores de cada amostra são ordenados do maior para o menor e divididos em quatro partes iguais gerando três quartis. O primeiro quartil (Q1) deixa 25% dos elementos à sua esquerda e 75% dos elementos à sua direita. O segundo quartil (Q2) corresponde a mediana, onde 50% dos elementos estão à sua esquerda e 50% à sua direita. O terceiro quartil (Q3) é o valor que deixa 75% dos elementos à sua esquerda e 25% à sua direita. Segundo Chwif e Medina (2010, p. 29), “no *box-plot* a “caixa” marca o intervalo entre o primeiro e terceiro quartis, e as linhas retas verticais representam os extremos para os valores não discrepantes”. Deste modo, os valores não usuais (*Outliers*) são identificados como os pontos que se encontram fora das linhas verticais.

Com o auxílio do *software Minitab* 16, foram gerados um gráfico *box-plot* para cada amostra do sistema estudado. O *Minitab* 16 trabalha com a identificação de *outliers* moderados e partindo da análise do gráfico 1, observa-se que há muitos valores considerados *outliers* moderados. No entanto, estes valores representam uma grande parcela da amostra podendo assim ser inviável desprezá-los. Nos demais gráficos, observou-se o mesmo fenômeno. Portanto, optou-se por identificar os *outliers* extremos, aqueles valores de extrema discrepância frente aos valores da amostra e que se distanciam muito dos limites externos.

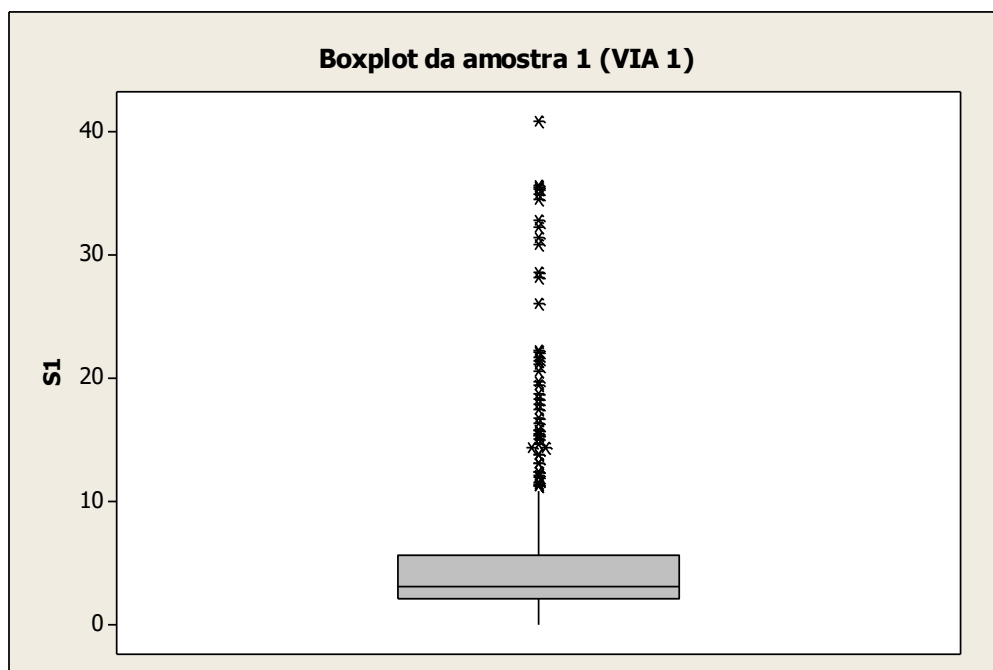


Gráfico 1 - Box Plot da amostra da VIA 1

Utilizando o *software Excel* 2016, construiu-se um intervalo de valores a partir dos quartis da amostra para a detecção dos *outliers* extremos. Para tal, calculou-se a amplitude interquartil ( $A$ ) pela fórmula  $A = Q_3 - Q_1$ . Considera-se um outlier extremo valores que estiverem abaixo de  $Q_1 - 3A$  (limite inferior extremo) ou acima de  $Q_3 + 3A$  (limite superior extremo). Após a construção desses limites, identificaram-se nos três conjuntos de dados quais valores seriam *outliers* extremos. O quadro 3 apresenta informações quanto aos valores extremos encontrados.

	Quantidade de valores	Quantidade de valores após a retirada de outliers	Limite Inferior Extremo	Limite Superior Extremo	<i>Outliers</i> extremos detectados
<b>Amostra 1 (VIA 1)</b>	400	374	- 8,464	16,372	35,31; 35,43; 32,79; 19,44; 30,85; 34,88; 21,42; 22,21; 26,09; 22,14; 31,37; 28,17; 35,58; 16,80; 17,94; 18,74; 32,24; 40,75; 18,34; 17,44; 19,79; 21,67; 34,43; 28,58; 21,19; 20, 59.
<b>Amostra 2 (VIA 2)</b>	400	370	- 11,087	19,923	23,40; 32,90; 30,08; 20,52; 29,68; 27,41; 30,45; 25,86; 47,41; 31,94; 22,14; 22,41; 33,83; 20,50; 27,76; 24,57; 21,45; 57, 42; 30,50; 45,35; 44,28; 24,74; 23,60; 28,30; 32,51; 24,41; 25,31; 20,77; 30,24; 30,05.
<b>Amostra 3 (VIA 3)</b>	400	395	- 22,717	35,404	41,44; 40,69; 43,22; 40,92, 47,69.

Quadro 3 - *Outliers* identificados

#### 4.2.2.2 Estatísticas descritivas dos dados sem os *outliers*

As tabelas 1, 2 e 3 mostram as principais medidas de posição e dispersão dos conjuntos de dados inerentes a VIA 1, VIA 2, e VIA 3.

Tabela 1 - Estatísticas descritivas dos dados da VIA 1

<b>Medidas de posição</b>	Média	4,087
	Mediana	2,93
	Moda	1,83; 2,06; 2,25; 2,28
	Mínimo	0,13
	Máximo	16,35
<b>Medidas de dispersão</b>	Desvio-padrão	3,206
	Variância da amostra	10,279
	Coefficiente de Variação	78,44 %
	Coefficiente de Assimetria	1,91

Tabela 2 - Estatísticas descritivas dos dados da VIA 2

<b>Medidas de posição</b>	Média	4,697
	Mediana	2,05
	Moda	2,13; 2,93
	Mínimo	0,76
	Máximo	19,69
<b>Medidas de dispersão</b>	Desvio-padrão	4,195
	Variância da amostra	17,594
	Coefficiente de Variação	89,31 %
	Coefficiente de Assimetria	1,93

Tabela 3 - Estatísticas descritivas dos dados da VIA 3

<b>Medidas de posição</b>	Média	7,369
	Mediana	4,8
	Moda	1,97
	Mínimo	0,5
	Máximo	33,28
<b>Medidas de dispersão</b>	Desvio-padrão	6,99
	Variância da amostra	49
	Coefficiente de Variação	94,86 %
	Coefficiente de Assimetria	1,57

Analisando as medidas de posição descritas nas tabelas anteriormente mostradas, tem-se que as médias 4,087 e 4,697 segundos, respectivamente VIA 1 e VIA 2, são bem próximas, refletindo um “ritmo” equivalente de chegadas entre um veículo e outro quando se compara as duas vias. Isso está relacionado ao fato de serem vias com características iguais, distinguindo apenas no sentido de fluxo de veículos, nos sentidos Oeste e Leste. Os valores mínimos correspondem a 0,13; 0,76 e 0,5 segundos, o que evidencia uma quase chegada de dois veículos ao mesmo tempo.

De posse das medidas de dispersão e analisando os coeficientes de variação, 78,44%; 89,32%; e 94,86% afirma-se que os dados estão muito dispersos, configurando um conjunto de dados heterogêneo com variabilidade grande em relação a média. Observa-se, também, que o conjunto de dados para cada via gera um coeficiente de assimetria positivo maior que 0 (assimetria positiva). Nesta situação, os dados distribuem-se em forma de uma cauda diminuindo na direção do lado esquerdo para o lado direito. Tal fenômeno, é uma característica inerente às distribuições exponenciais e lognormais.

### 4.2.2.3 Análise de correlação

De modo a avaliar o grau de relacionamento entre as observações das amostras, realizou-se uma análise de correlação dos dados. O objetivo está em verificar se a amostra representa uma sequência de elementos independentes e identicamente distribuídos. Desta forma, um método simples de se investigar o correlacionamento das observações é a utilização de um diagrama de dispersão.

O diagrama de dispersão mostrado no Gráfico 2 representa o grau de relacionamento entre as observações da amostra da Via 1 no que se refere ao tempo entre chegadas sucessivas dos veículos, no respectivo semáforo da Via 1. Conforme a literatura, verifica-se uma correlação nula quando não é possível identificar nenhuma conexão entre os valores, com isso o diagrama não apresenta uma forma definida. Analisando o gráfico 2, fica evidente a inexistência de uma correlação entre os valores da amostra, uma vez que os pontos estão dispersos de modo aleatório pelo gráfico, o que confirma a hipótese de os elementos serem independentes e identicamente distribuídos. De forma análoga, identificou-se para as demais amostras a inexistência de correlação entre as observações realizadas.

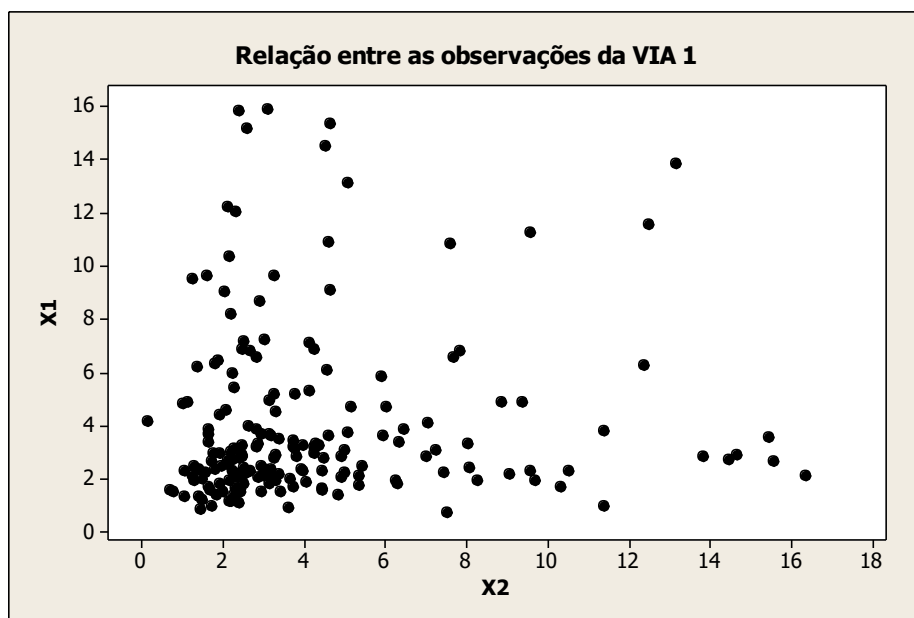


Gráfico 2 - Diagrama de dispersão das observações da VIA 1

### 4.2.3 Inferência e teste de aderência

A próxima fase se refere à identificação de uma possível distribuição de probabilidade que possa representar o comportamento do fluxo de veículos nas vias estudadas. Nesse cenário, utilizou-se da ferramenta *Input Analyser* do *software Arena* para obtenção de um histograma de cada amostra e para a identificação das três melhores distribuições de probabilidades que mais se ajustam ao fenômeno do sistema.

Os testes de aderência são realizados para verificar se as distribuições probabilísticas encontradas são estatisticamente adequadas para representar os dados coletados. A ferramenta *Input Analyser* utiliza o teste do qui-quadrado e o teste de *Kolmogorov-Smirnov*, e fornece um valor denominado *p-value*, que é utilizado como parâmetro na decisão de rejeitar ou não a hipótese de aderência. Chwif e Medina (2010, p. 42) colocam que o *p-value* “representa o menor nível de significância que pode ser assumido para se rejeitar a hipótese de aderência”. Os autores ainda disponibilizam uma categorização (tabela 4) contendo os critérios usuais para classificação do *p-value*.

Tabela 4 - Critérios usuais para classificação do p-value

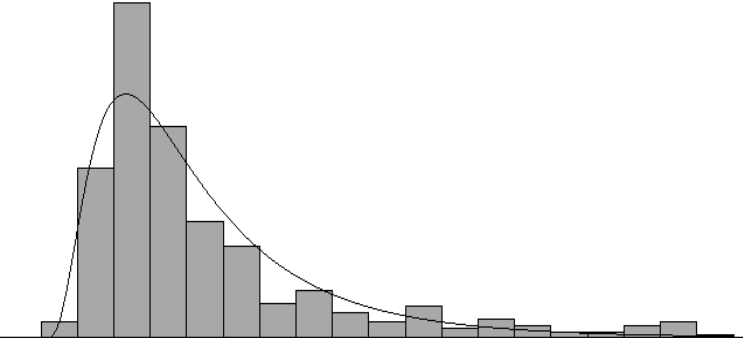
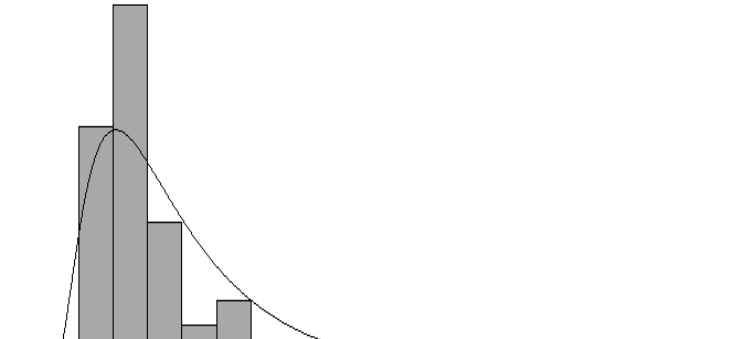
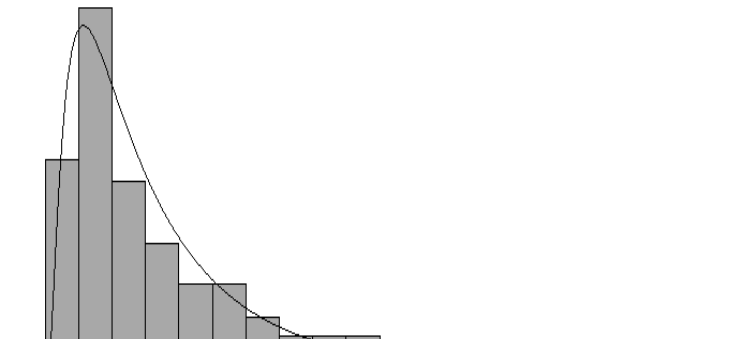
<b>Valor</b>	<b>Critério</b>
$p\text{-value} < 0,01$	Evidência forte contra a hipótese de aderência
$0,01 \leq p\text{-value} < 0,05$	Evidência moderada contra a hipótese de aderência
$0,05 \leq p\text{-value} < 0,10$	Evidência potencial contra a hipótese de aderência
$0,10 \leq p\text{-value}$	Evidência fraca contra a hipótese de aderência

Fonte: Chwif e Medina (2010)

A tabela 5 contém os histogramas e todas as informações de ajuste de distribuição fornecidas pela ferramenta *Input Analyser* a cada conjunto de dados.



Tabela 5 - Histogramas e ajustes de distribuição do conjunto de dados da VIA 1, 2 e 3

<b>Conjunto de dados da VIA 1</b>		
	<p><i>Distribuição:</i> Lognormal  <i>Expressão:</i> LOGN(4.04 3.03)  <i>Erro quadrático (EQ):</i> 0.009681</p> <p><i>Teste qui-quadrado</i>  <i>p-value</i> correspondente &lt; 0.005</p> <p><i>Teste de Kolmogorov-Smirnov</i>  <i>p-value</i> correspondente = 0.0148</p> <p><i>Distribuições que mais se ajustam</i>                      1° Lognormal EQ = 0.00968                      2° Gamma EQ = 0.0218                      3° Erlang EQ = 0.0238</p>	
	<b>Conjunto de dados VIA 2</b>	
		<p><i>Distribuição:</i> Lognormal  <i>Expressão:</i> LOGN(4.53, 3.61)  <i>Erro quadrático (EQ):</i> 0.024139</p> <p><i>Teste qui-quadrado</i>  <i>p-value</i> correspondente &lt; 0.005</p> <p><i>Teste de Kolmogorov-Smirnov</i>  <i>p-value</i> correspondente &lt; 0.01</p> <p><i>Distribuições que mais se ajustam</i>                      1° Lognormal EQ = 0.0241                      2° Erlang EQ = 0.0453                      3° Gamma EQ = 0.0453</p>
		<b>Conjunto de dados VIA 3</b>
		<p><i>Distribuição:</i> Lognormal  <i>Expressão:</i> LOGN(7.5, 8.85)  <i>Erro quadrático (EQ):</i> 0.003244</p> <p><i>Teste qui-quadrado</i>  <i>p-value</i> correspondente = 0.0103</p> <p><i>Teste de Kolmogorov-Smirnov</i>  <i>p-value</i> correspondente = 0.0503</p> <p><i>Distribuições que mais se ajustam</i>                      1° Lognormal EQ = 0.00324                      2° Gamma EQ = 0.0092                      3° Weibull EQ = 0.01</p>

### 4.3 Modelo conceitual

A modelagem de sistemas de trânsito na representação do fluxo de veículos demonstra ser uma tarefa um pouco complexa. O processo exige uma fiel representação da realidade a ser simulada por meio do modelo computacional. Deste modo, o desenvolvimento de um modelo conceitual, preliminar à criação de um modelo computacional, passa a desempenhar um papel importante na garantia de minimizar os erros quanto a retratar o cenário real, e na oportunidade de se criar um modelo computacional correto, com qualidade e de forma ágil.

O modelo conceitual exibido na figura 7 foi elaborado segundo a metodologia IDEF-SIM. Leal *et al.* (2009) descrevem o IDEF-SIM (*Integrated Definition Methods - Simulation*) como uma técnica que auxilia na construção do modelo conceitual de forma a manter a lógica desejada a ser adotada no modelo conceitual. Segundo os mesmos autores, a metodologia ainda permite a documentação de modelos computacionais de forma independente a um *software* de simulação.

O modelo conceitual representando o cruzamento com interseções semaforizadas foi dividido em três partes, conforme as três vias existentes (PARTE 1 VIA 1, PARTE 2 VIA 2 e PARTE 3 VIA 3). Cada uma das partes exibe o fluxo, ou caminho, que cada entidade, representada por um veículo, segue desde a entrada até a saída do sistema. Considerou-se que cada via é composta por uma única pista, e por um semáforo. Cabe ressaltar que todos os veículos foram tratados como iguais, não havendo distinção entre carros, ônibus e veículos pesados. No entanto, as motocicletas não foram consideradas. Analisando a PARTE 3 VIA 3 a título de exemplo, temos que a entidade do tipo E3 entra no sistema pela VIA 3, percorre um trajeto (T3AC) até a chegada no SEMÁFORO 3 do cruzamento, decide qual direção tomar, seguir em frente, convergir no sentido VIA 1, ou convergir no sentido VIA 2, e percorre mais trecho (T31PC ou T32PC OU T33PC) pós cruzamento, deixando o sistema. Observa-se que a via de origem de uma entidade nem sempre será a sua via de saída, o que caracteriza o cenário real do cotidiano de um trânsito urbano.

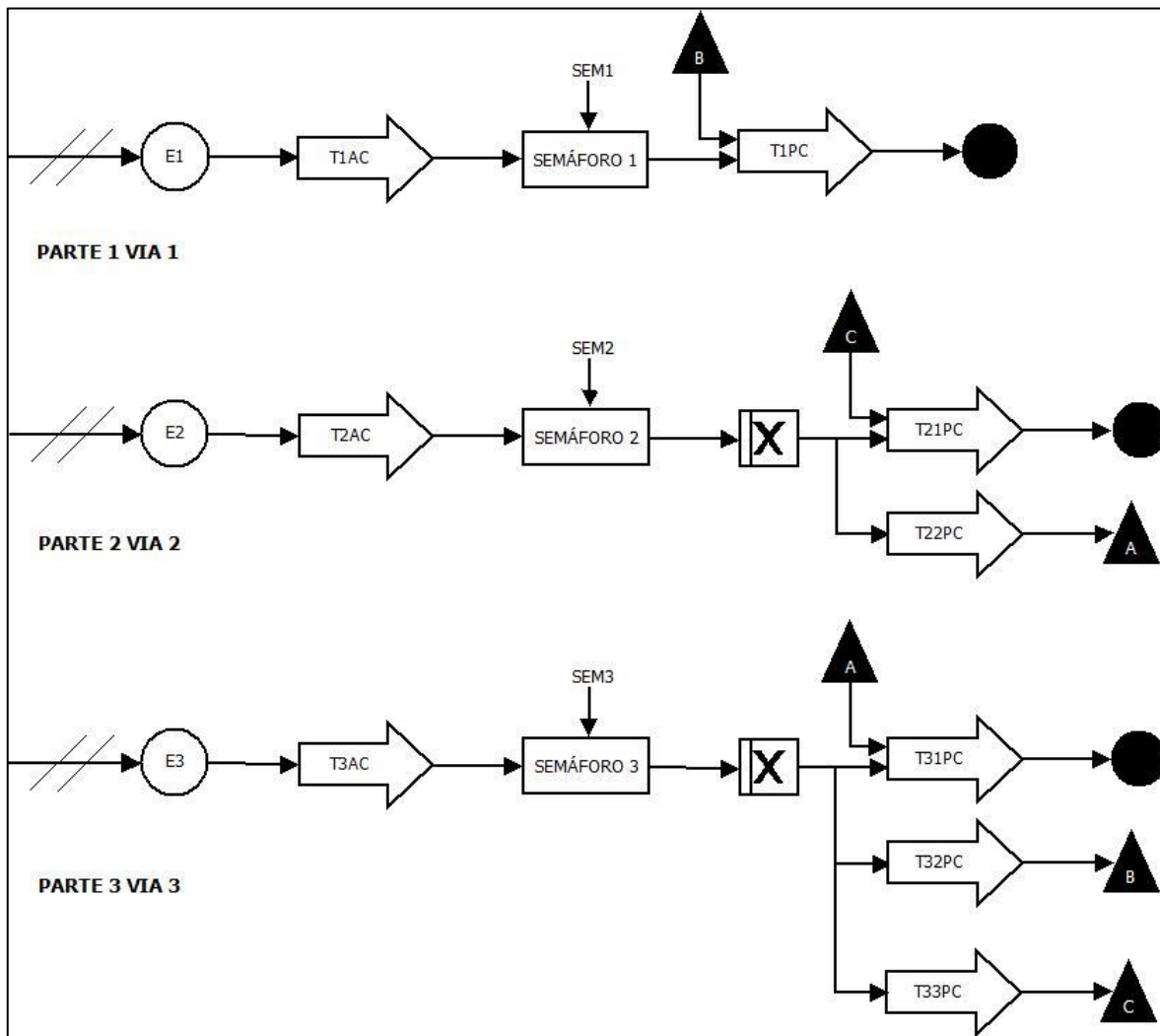


Figura 7 - Modelo Conceitual adotado

#### 4.4 Modelo computacional

Diante do correto entendimento do comportamento do sistema como um todo e sua posterior ilustração por meio do modelo conceitual, construiu-se o modelo computacional. Desenvolvido e implementado no *software Arena*, o modelo computacional abrange a representação das vias onde há o fluxo de veículos, o controle do funcionamento dos 3 semáforos do cruzamento, e a representação do sistema como um todo, por meio de uma animação computacional ilustrada pela Figura 8.

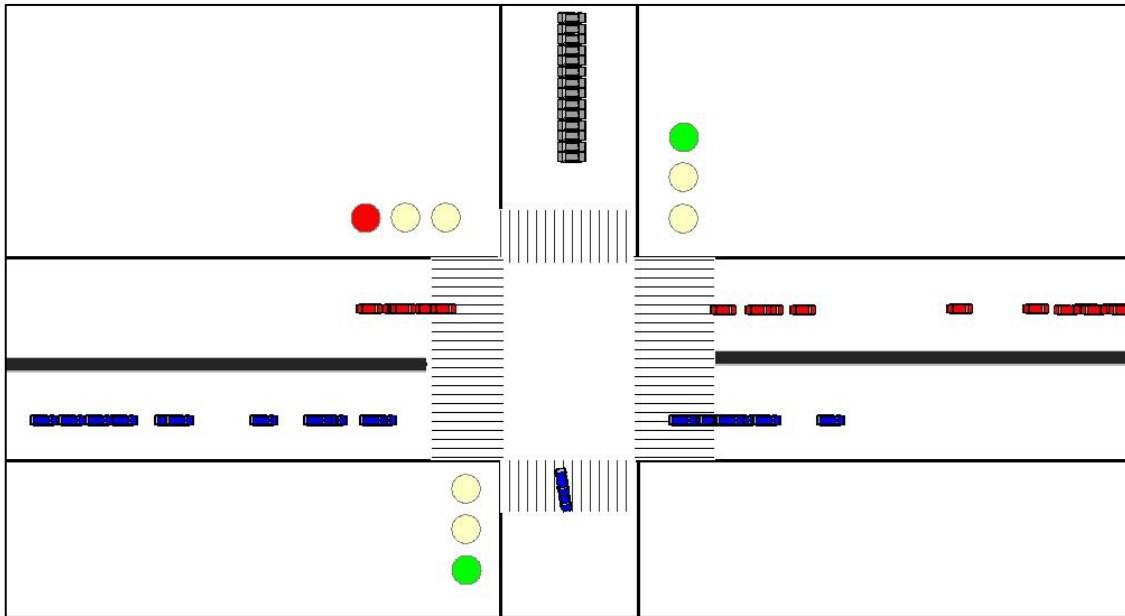


Figura 8 - Animação do modelo computacional

A lógica do sistema, conforme a Figura 9, compreende o fluxo de veículos por meio de 3 vias. Nas vias, os veículos entram no sistema e percorrem um trecho antes de chegarem ao semáforo. Os módulos *STATION* e *ROUTE* configuram essa atividade de deslocamento. Os veículos chegam no semáforo representado pelo módulo *HOLD*, que recebe um sinal do controle de funcionamento de cada semáforo para assim permitir a passagem ou não dos veículos, conforme o tempo de ciclo de cada semáforo. Após os semáforos, os veículos percorrem mais um trecho até saírem do sistema. A lógica de fluxo do modelo é basicamente a mesma para cada via. A única particularidade existente concentra-se nas vias 2 e 3, pois os veículos logo após cruzarem o sinal podem escolher trafegar em vias diferentes das quais se originaram. Assim, utilizou-se do módulo *DECIDE* para distribuir, conforme percentual de convergência, os veículos aos demais trechos escolhidos para o tráfego.

O modelo de controle de funcionamento de cada semáforo descrito na Figura 10 é composto por um módulo *CREATE*, que gera a entrada dos veículos no controle de semáforo; 3 módulos *SIGNAL*, sendo que o primeiro emite sinal para verde, o segundo para amarelo, e o

terceiro para vermelho; e por 3 módulos *PROCESS* que processam os tempos de verde, vermelho e amarelo dos semáforos.

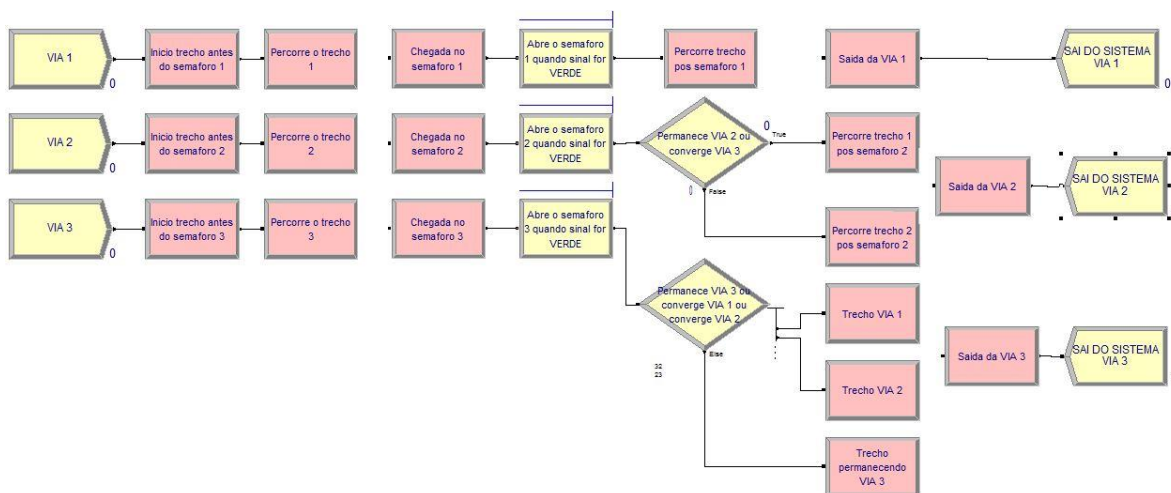


Figura 9 - Modelo computacional do fluxo de veículos desenvolvido no Arena

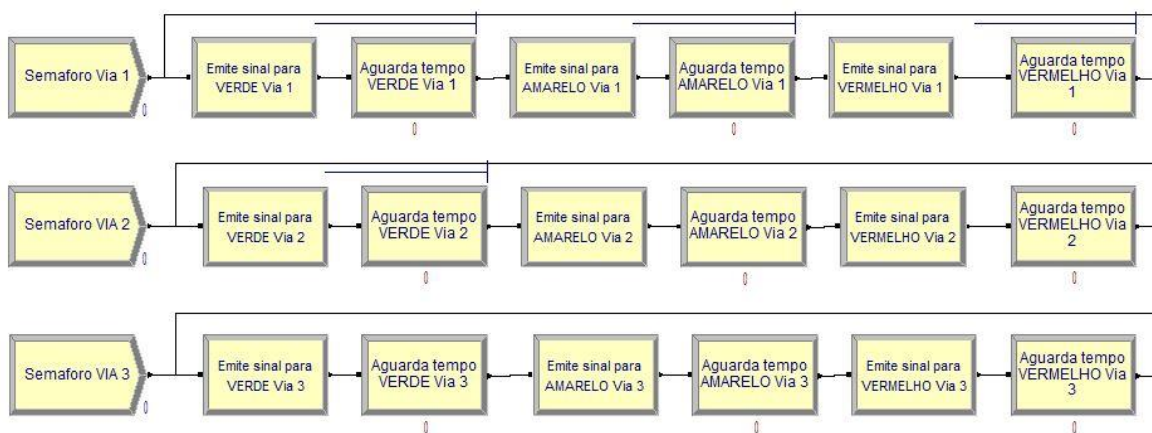


Figura 10 - Modelo de controle dos semáforos desenvolvido no Arena

## 5 ANÁLISE DE RESULTADOS

### 5.1 Testes Computacionais

De posse do modelo computacional pronto, iniciou-se a etapa de testes computacionais. Os testes foram realizados utilizando o *software Arena* versão 14.70.00000 em um *Ultrabook ASUS* com processador *Intel*® *Core*™ i5 – 33370 CPU @ 1.80 GHz, memória RAM

instalada de 4.00 GB, e sistema operacional *Windows 10 Home* 64-bit. Foram feitas 20 replicações, com cada replicação com tempo de 1 hora, sendo a unidade base de tempo em segundos.

## 5.2 Cenário Base

### 5.2.1 Verificação e Validação

A verificação se baseia em atestar a construção correta do modelo computacional no *software* frente ao modelo conceitual adotado. Assim, a título de verificação, checkou-se visualmente o comportamento do modelo computacional mediante a animação desenvolvida e se constatou a ocorrência de condições muito próximas à realidade, o que assegura a verificação do modelo.

Devido à simplicidade do sistema, optou-se por fazer a validação com base no número de veículos que passam no local por hora. De acordo com os dados coletados, passam em média 883 veículos por hora na VIA 1, 766 na VIA 2, e 489 na VIA 3. Comparou-se os dados coletados aos *outputs* do modelo simulado, neste caso o número médio de veículos que saíram do sistema em cada via (857 veículos na VIA 1, 758 na VIA 2, e 466 na VIA 3). Deste modo, conforme os cálculos abaixo, obteve-se para cada via o erro percentual (%E).

$$\%E = \frac{\text{Número Médio de Veículos Reais} - \text{Número Médio de Veículos Simulados}}{\text{Número Médio de Veículos Reais}}$$

$$\%E \text{ da VIA 1} = \frac{883 - 857}{883} = 0,029 \times 100 = 2,9\%$$

$$\%E \text{ da VIA 2} = \frac{766 - 758}{766} = 0,010 \times 100 = 1,0\%$$

$$\%E \text{ da VIA 3} = \frac{489 - 466}{489} = 0,047 \times 100 = 4,7\%$$

$$\%E \text{ TOTAL} = \frac{2138 - 2081}{2138} = 0,027 \times 100 = 2,7\%$$

Analisando os erros percentuais obtidos, observa-se que em nenhum dos casos o erro percentual foi igual ou ultrapassou a significância de 5 %. Além disso, o erro percentual total obtido foi de 2,7%, e considerando um nível de confiança de 95%, valida-se o modelo.

### 5.2.2 Análise do Cenário Base

Nesta etapa da pesquisa, buscou-se analisar os resultados gerados da simulação do cenário base nas perspectivas de formação e caracterização das filas. O número médio e máximo de veículos nas filas das diferentes vias é mostrado na Tabela 6. E o tempo de espera médio e máximo de veículos nas respectivas filas das diferentes vias são mostrados na tabela 7.

Tabela 6 – Número médio e máximo de veículos em fila no cenário base

<b>Número médio de veículos na fila (NV)</b>	<b>VIA 1</b>	12,0943
	<b>VIA 2</b>	10,8016
	<b>VIA 3</b>	6,5673
<b>Número máximo de veículos na fila (NMV)</b>	<b>VIA 1</b>	39
	<b>VIA 2</b>	34
	<b>VIA 3</b>	31

Tabela 7 - Tempo de espera médio e máximo de veículos em fila no cenário base

<b>Tempo de espera médio dos veículos na fila (em segundos) (TE)</b>	<b>VIA 1</b>	49,5266
	<b>VIA 2</b>	49,8201
	<b>VIA 3</b>	49,7585
<b>Tempo de espera máximo dos veículos na fila (em segundos) (TEM)</b>	<b>VIA 1</b>	100
	<b>VIA 2</b>	100
	<b>VIA 3</b>	99,98

Os resultados descritos nas tabelas anteriores mostram que o tempo de espera médio dos veículos nas vias se aproxima de 50 segundos, demonstrando a existência e caracterizando

uma fila de espera considerável nas vias do cruzamento. Além disso, verifica-se que o número médio de veículos nas filas corresponde a 12 veículos na VIA 1, 11 na VIA 2, e 7 na VIA 3, o que condiz com a realidade observada.

### 5.3 Cenários

Nesta etapa, propõe-se a investigação de cenários e a simulação dos mesmos. O objetivo está em encontrar cenários alternativos viáveis, explorando modificações que venham proporcionar melhorias ao sistema real. Os cenários investigados foram formulados com base no tempo de ciclo dos semáforos das interseções do cruzamento e no tempo reservado para a travessia de pedestre.

Inicialmente, investigaram-se cenários em que o tempo de verde dos semáforos seriam acrescidos, mantendo o tempo de ciclo do cenário base de 100 segundos, bem como o tempo de travessia de pedestre, que é de 19 segundos. O intuito estaria em proporcionar um tempo maior de verde nas vias para viabilizar um fluxo maior de veículos e assim diminuir o tamanho das filas existentes. Entretanto, os resultados obtidos com estes cenários foram ineficientes.

A Tabela 8 retrata, a título de exemplo, uma comparação dos resultados obtidos com um cenário onde o tempo de verde foi acrescido, com os resultados providos pelo cenário base. Observa-se que não houve discrepâncias significativas em relação ao Tempo de Espera Médio de veículos em fila (TE) e Número Médio de Veículos (NV) esperando em fila. O que demonstra a inviabilidade de se trabalhar aumentando o tempo de verde dos semáforos.

Tabela 8 – Comparativo Cenário tempo de verde maior x Cenário base

	VIA 1	VIA 2	VIA 3
Tempo de Espera Médio (TE)	47.384	46.7852	47.3752
Tempo de Espera Máximo (TEM)	94.9985	94.9971	94.9991
Número de Veículos em Fila (NV)	11.5301	10.0253	6.3178
Número Máximo de Veículos (NMV)	35	32	24



Outros cenários, desta vez aumentando o tempo de ciclo de 100 segundos para 105 segundos, também foram testados, mas ainda assim resultados inviáveis foram obtidos. Diante desses resultados, decidiu-se investigar cenários em que o tempo de ciclo seria reduzido. Chegou-se a três cenários investigados. Na tabela 9 encontra-se um resumo dos parâmetros alterados em cada cenário investigado.

Tabela 9 - Parâmetros alterados nos cenários estudados

<b>CENÁRIO 1</b>	<b>VIA 1</b>	<b>VIA 2</b>	<b>VIA 3</b>
Tempo de ciclo	95 segundos		
Tempo de travessia de pedestre	19 segundos		
Configuração do semáforo	Verde: 46s	Amarelo: 3s	Vermelho: 46s
<b>CENÁRIO 2</b>	<b>VIA 1</b>	<b>VIA 2</b>	<b>VIA 3</b>
Tempo de ciclo	92 segundos		
Tempo de travessia de pedestre	12 segundos		
Configuração do semáforo	Verde: 44s	Amarelo: 3s	Vermelho: 45s
<b>CENÁRIO 3</b>	<b>VIA 1</b>	<b>VIA 2</b>	<b>VIA 3</b>
Tempo de ciclo	90 segundos		
Tempo de travessia de pedestre	9 segundos		
Configuração do semáforo	Verde: 45s	Amarelo: 3s	Vermelho: 42s

### 5.3.1 Cenário 1

O primeiro cenário corresponde a uma redução do tempo de ciclo de 100 segundos para 95 segundos e manutenção do tempo de travessia de pedestre em 19 segundos. A nova configuração do semáforo passa a ser:

- VIA 1 e 2: 46s para tempo de verde, 3s para o tempo de amarelo, e 46s para o tempo de vermelho;
- VIA 3: 27s para o tempo de verde, 3s para o tempo de amarelo, e 65s para o tempo de vermelho.

Após a simulação deste cenário obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados obtidos com o cenário 1

<b>CENÁRIO 1</b>			
	<b>VIA 1</b>	<b>VIA 2</b>	<b>VIA 3</b>
Tempo de Espera Médio (TE)	47.384	46.7852	47.3752
Tempo de Espera Máximo (TEM)	94.9985	94.9971	94.9991
Número de Veículos em Fila (NV)	11.5301	10.0253	6.3178
Número Máximo de Veículos (NMV)	35	32	24

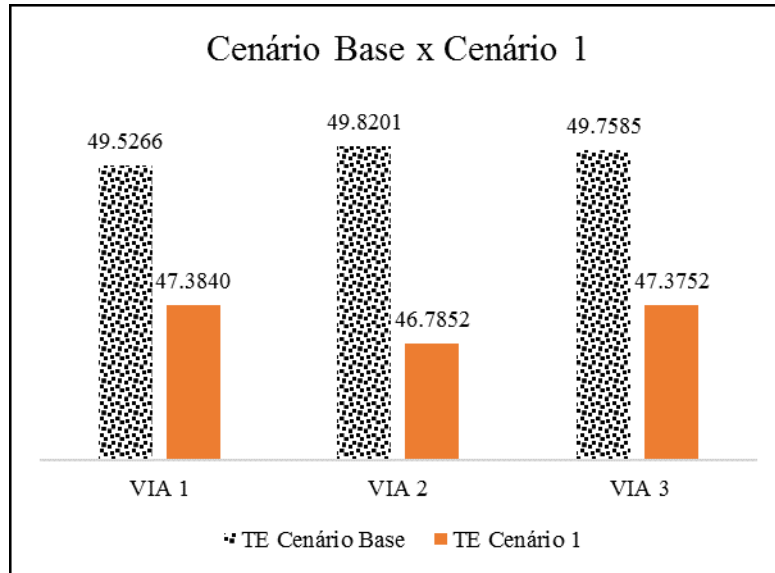


Gráfico 3 - Comparativo do TE do cenário base com o cenário 1

Em comparação com os resultados da simulação do cenário base e analisando o gráfico comparativo 3, verifica-se que o cenário 1 apresenta uma melhora de 4,5%, 6,5% e 5% no TE das respectivas vias 1, 2 e 3. Quanto ao NV esperando em fila, evidencia-se uma melhora, mas pouco significativa quando comparado ao cenário base.

### 5.3.2 Cenário 2

O segundo cenário corresponde a uma redução do tempo de ciclo de 100 segundos para 92 segundos obtendo uma redução do tempo de travessia de pedestres para 12 segundos. A nova configuração do semáforo passa a ser:

- VIA 1 e 2: 44s para tempo de verde, 3s para o tempo de amarelo, e 45s para o tempo de vermelho;
- VIA 3: 32s para o tempo de verde, 3s para o tempo de amarelo, e 57s para o tempo de vermelho.

Após a simulação deste cenário obtiveram-se os resultados mostrados a Tabela 11.

Tabela 11 – Resultados obtidos com o cenário 2

<b>CENÁRIO 2</b>			
	<b>VIA 1</b>	<b>VIA 2</b>	<b>VIA 3</b>
Tempo de Espera Médio (TE)	46.0643	45.9793	45.4998
Tempo de Espera Máximo (TEM)	91.9955	91.994	91.9975
Número de Veículos em Fila (NV)	11.3105	9.9727	6.0192
Número Máximo de Veículos (NMV)	34	34	28

Em comparação com os resultados da simulação do cenário base e analisando o gráfico comparativo 4, verifica-se que o cenário 2 apresenta uma melhora de 7,5%, 8,4% e 9,4% no TE das respectivas vias 1, 2 e 3. Já o NV esperando em fila, segundo o gráfico 5, começa a demonstrar uma melhora mais significativa frente ao cenário base. Obteve-se uma redução de 6,9%, 8,3% e 9,1% no NV esperando em fila das respectivas vias 1, 2 e 3.

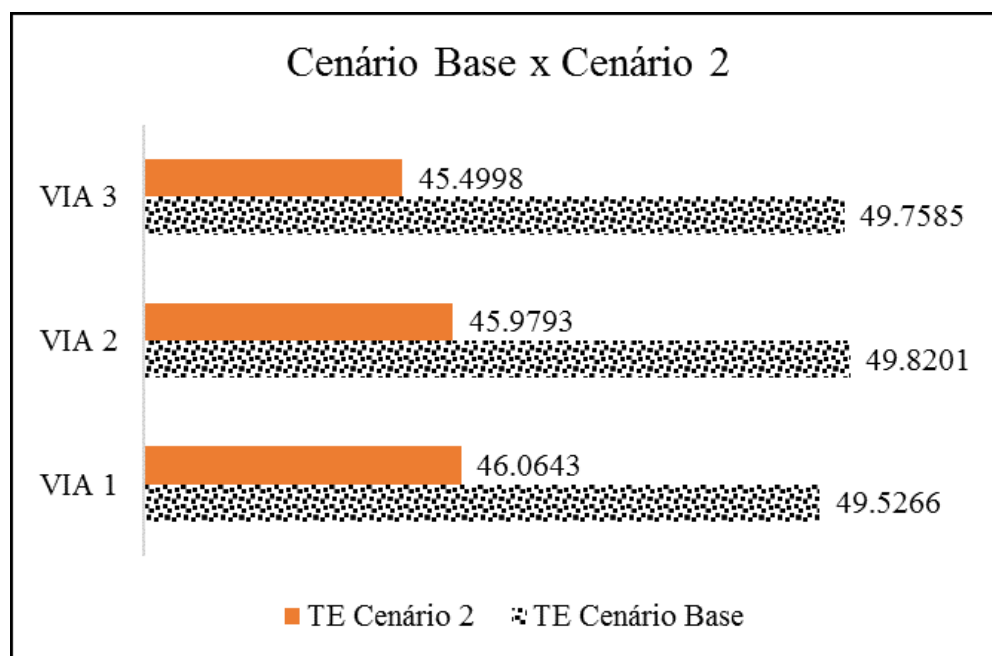


Gráfico 4 - Comparativo do TE do cenário base com o cenário 2

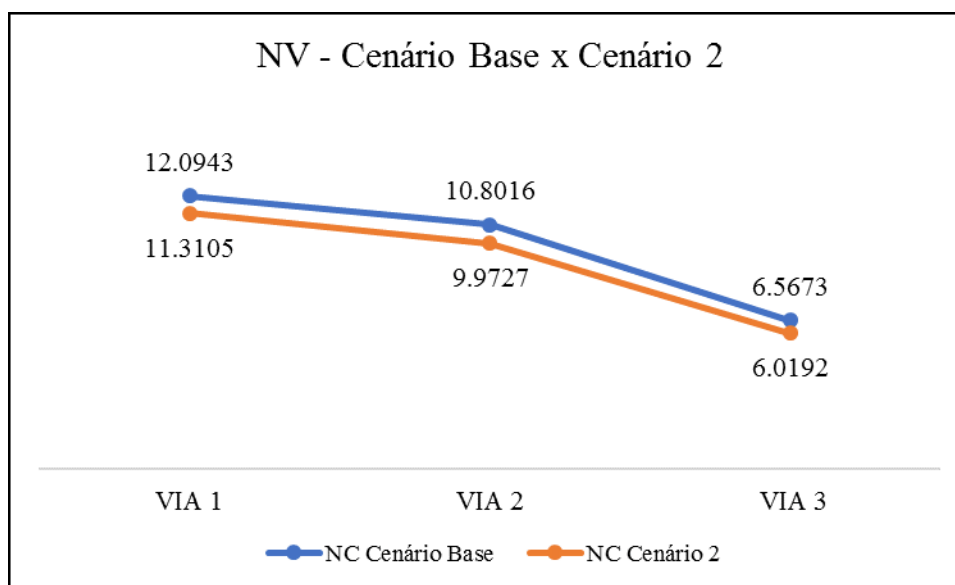


Gráfico 5 - Comparativo do NV do cenário base com o cenário 2

### 5.3.3 Cenário 3

O terceiro cenário corresponde a uma redução do tempo de ciclo de 100 segundos para 90 segundos, obtendo uma redução do tempo de travessia de pedestres para 9 segundos. A nova configuração do semáforo passa a ser:

- VIA 1 e 2: 45s para tempo de verde, 3s para o tempo de amarelo, e 42s para o tempo de vermelho;
- VIA 3: 35s para o tempo de verde, 3s para o tempo de amarelo, e 52s para o tempo de vermelho.

Após a simulação deste cenário, obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Resultados obtidos com o cenário 3

<b>CENÁRIO 3</b>			
	<b>VIA 1</b>	<b>VIA 2</b>	<b>VIA 3</b>
Tempo de Espera Médio (TE)	44.658	44.9837	45.1949
Tempo de Espera Máximo (TEM)	89.9971	89.9994	89.9988
Número de Veículos em Fila (NV)	10.8406	9.7806	5.9969
Número Máximo de Veículos (NMV)	33	31	23

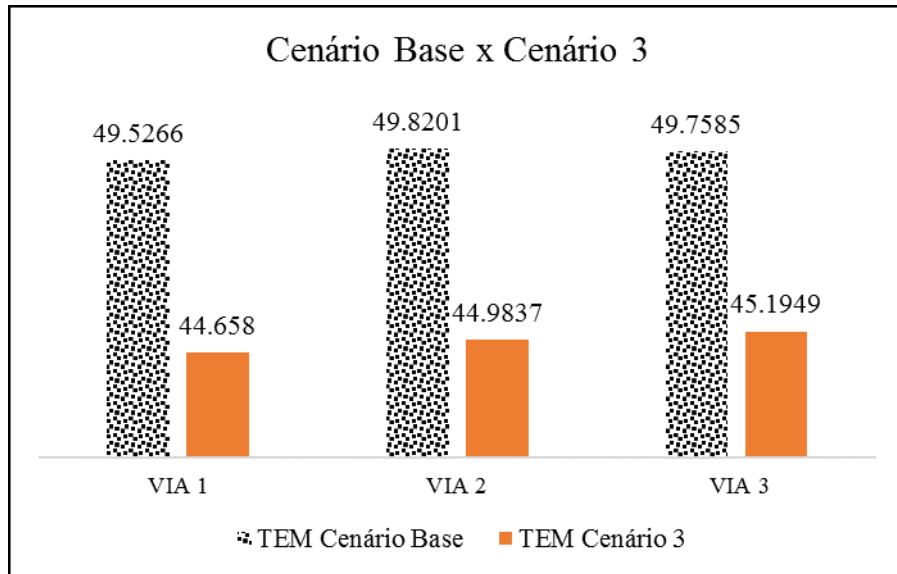


Gráfico 6 - Comparativo do TE do cenário base com o cenário 3

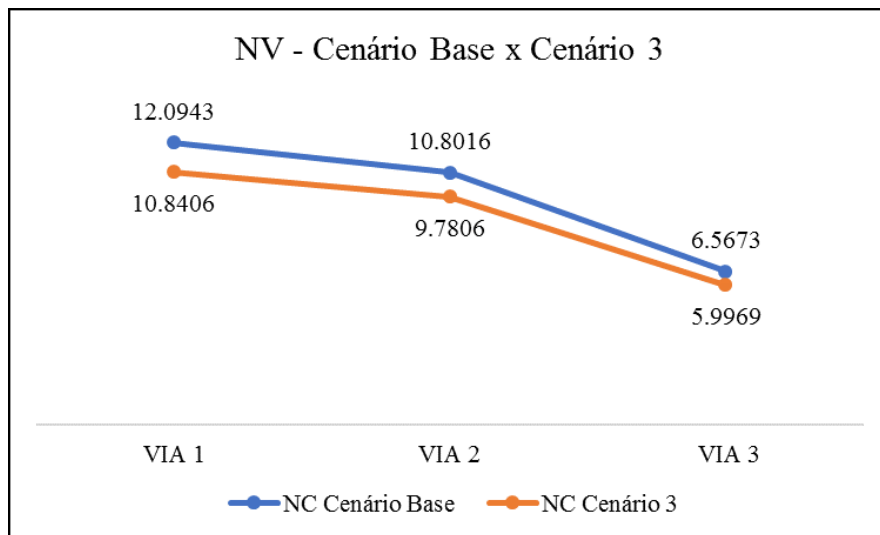


Gráfico 7 - Comparativo do NV do cenário base com o cenário 3

Comparando os resultados da simulação do cenário base junto aos resultados do cenário 3 e analisando o gráfico comparativo 6, verifica-se que o cenário 3 proporciona uma melhora de 10,9%,10,8% e 10,1% no TE das respectivas vias 1, 2 e 3. Quanto ao NV esperando em fila, há uma melhora bastante significativa onde, analisando o gráfico 7, houve uma redução de 11, 6%, 10,4% e 9,5% nas respectivas vias 1, 2 e 3.

Uma análise conjunta e comparativa do cenário base com os demais cenários pode ser vista no gráfico 8, que analisa o TE, e o gráfico 9 que analisa o NV esperando em fila. Observa-se que entre os três cenários propostos, o terceiro cenário apresenta resultados mais satisfatórios com grande potencial de gerar melhores soluções viáveis para o problema.

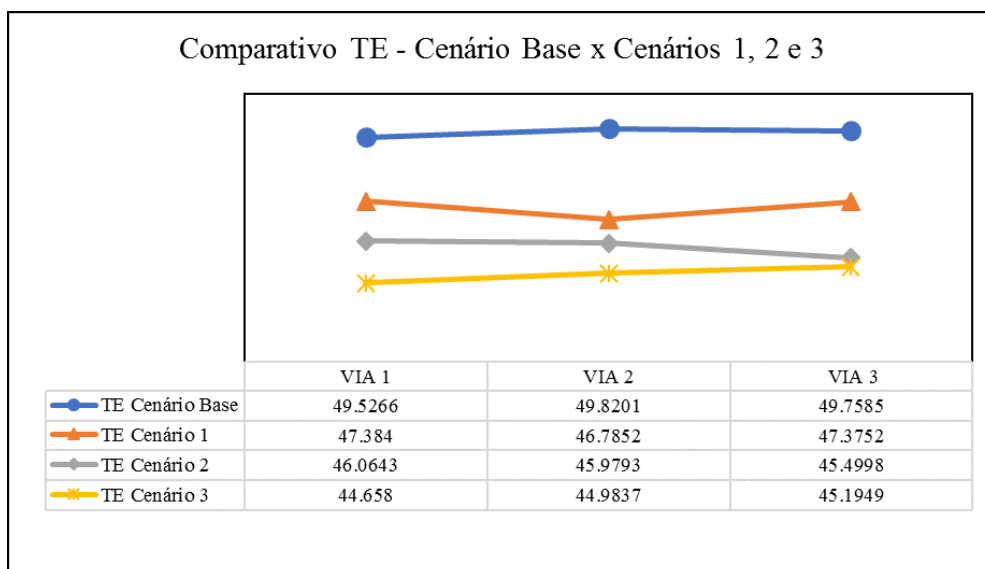


Gráfico 8 - Comparativo geral do TE do cenário base com os demais cenários estudados

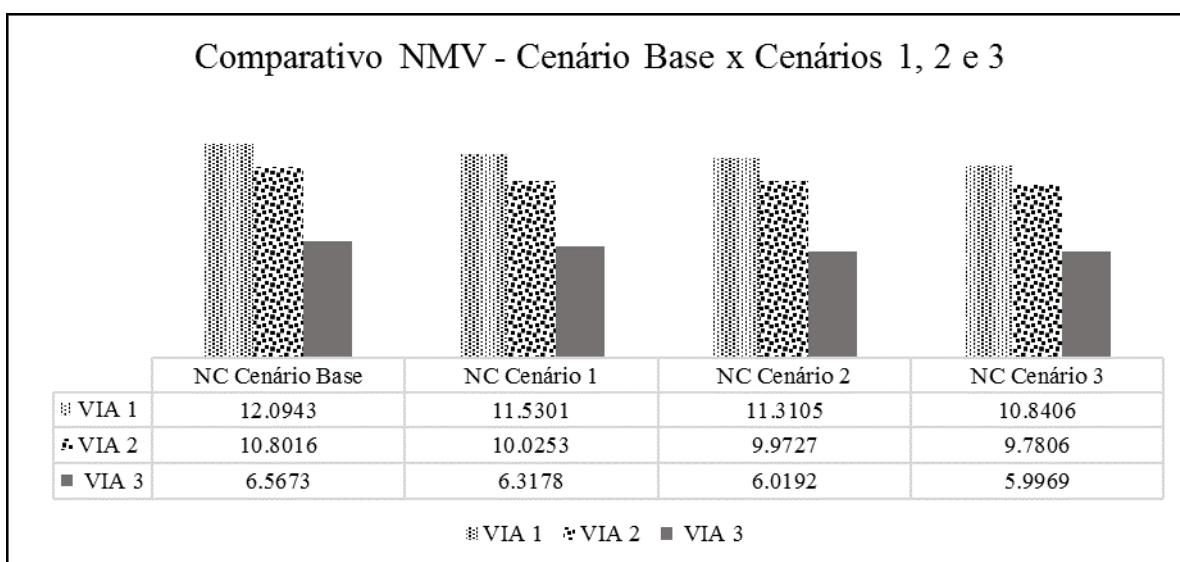


Gráfico 9 - Comparativo geral NMV do cenário base com os demais cenários estudados

Além disso, analisando a Tabela 12, que mostra Cenário 3, frente a Tabela 6, referente ao Cenário base, chegou-se na Tabela 13. Verifica-se, nesta tabela, que o NMV diminui consideravelmente no cenário 3 proposto, passando de 39 veículos para 33 na VIA 1, 34 veículos para 31 na VIA 2, e 31 veículos para 23 na VIA 3, o que reforça ainda mais a representatividade do cenário 3 em relação aos demais cenários.

Tabela 13 – Comparativo do NMV do cenário base com o cenário 3

<b>NMV – CENÁRIO BASE X CENÁRIO 3</b>			
	<b>VIA 1</b>	<b>VIA 2</b>	<b>VIA 3</b>
Número Máximo de Veículos (NMV) do cenário base	39	34	31
Número Máximo de Veículos (NMV) do cenário 3	33	31	23

## **6 CONCLUSÃO**

Neste trabalho, foi desenvolvido e implementado um modelo de simulação computacional para analisar o fluxo de veículos em um cruzamento com interseções semaforizadas da região central do município de João Monlevade. Sabe-se que muitos pesquisadores utilizam da simulação computacional para encontrar meios de melhoria de sistemas sem a necessidade de intervenção física a este sistema em um primeiro momento.

Nesse sentido, em virtude do conturbado fluxo de trânsito observado no município, buscou-se compreender a situação real do sistema e utilizar da ferramenta de simulação computacional como meio de análise e como mecanismo de potencial melhoria do cenário estudado.

Composto por três vias semaforizadas, o modelo desenvolvido abrange a chegada dos veículos, a passagem dos mesmos pelas interseções semaforizadas e a saída destes veículos

conforme taxa de convergência nos sentidos permitidos das vias. O modelo foi desenvolvido e simulado no *software Arena* e analisado sob a simulação de cenários.

Três cenários foram propostos, simulados e comparados ao sistema real, visando encontrar soluções alternativas viáveis ao atual estado do sistema real. Os cenários 1 e 2 mostraram resultados satisfatórios por meio de melhorias, como exemplo, no TE que chegam ao patamar de 6,5% no cenário 1 e 9,4% no cenário 2. Entretanto foi o cenário 3 que propiciou os melhores resultados. Apresentando resultados muito mais eficientes e homogêneos para as 3 vias, o cenário 3 mostrou uma melhora de 10,9%, 10,8% e 10,1% no TE das respectivas vias 1, 2 e 3, e uma redução de 11,6%, 10,4% e 9,5% no NV esperando em fila nas respectivas vias 1, 2 e 3.

Ressalta-se que apesar do tempo de travessia para pedestres ser baixo no cenário 3, isso não interfere no bom funcionamento do fluxo do trânsito bem como na segurança dos pedestres, pois por meio de observações feitas, o fluxo de pedestres que transitam neste cruzamento é baixo, além disso, a travessia é curta.

Por fim, pode-se concluir com o estudo, com o desenvolvimento do modelo de simulação e com os resultados obtidos, que a quebra do fluxo de veículos em porções menores fez com que o mesmo fosse liberado mais rapidamente, resultando em filas menores de espera, bem como em tempos menores de permanência dos veículos no sistema. Para trabalhos futuros, sugere-se considerar as faixas existentes nas vias, levando em conta em qual faixa o veículo chegou e em qual faixa ele saiu, para assim verificar se este fator impacta de alguma forma no comportamento do sistema real como um todo.



## REFERÊNCIAS

BAPTISTA, R. G. T; RANGEL, J. J. A. Simulação a eventos discretos de uma via semaforizada com controle automatizado em tempo real. **Revista Produção Online**, Florianópolis, SC, v.13, n. 1, p. 290-317, jan./mar. 2013.

BENSON, D. Simulation modeling and optimization using ProModel. **Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference. Institute of Electrical and Electronics Engineers**, Atlanta, Georgia, EUA, 7–10 Dez., 587–593, 1997.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Modelling and simulation: operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002.

BRYMAN, A. **Research methods and organization studies**. Londres: Unwin Hyman, 1989.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações**. 3. ed. rev. São Paulo: Ed. do Autor, 2010.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Anuário CNT do Transporte Estatísticas consolidadas 2017**. Disponível em: <<http://anuariodotransporte.cnt.org.br/2017/File/MaterialImprensa.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2017.

CUCCI, N. J. **A organização do trânsito no Brasil e Elementos de Tráfego**. Notas de Aula. Aula 1. 2017. Disponível em: <[http://meusite.mackenzie.com.br/professor\\_cucci/aula1.pdf](http://meusite.mackenzie.com.br/professor_cucci/aula1.pdf)>. Acesso em: 11 abr. 2017.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

GAZIERO, C.; *et al.* Simulação computacional do fluxo de trânsito de veículos em uma intersecção semaforizada da cidade de Caxias do Sul. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, vol. 10, n. 2, p. 77-92, jul/dez, 2014.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades - Frota - 2016**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/27OWN>>. Acesso em: 02 jul. 2017.

KAMRAN, M. A; RAMEZANI, H; MASOUMZADEH, S; NIKKHOO, F. Traffic Light Signal Timing Using Simulation. **Communications on Advanced Computational Science with Applications** 2017 No. 1 (2017) 1-11.

KAMRANI, M; ABADI, S. M. H. E; GOLROUNDBARY, S. R. Traffic simulation of two adjacent unsignalized T-junctions during rush hours using Arena software. **Simulation Modelling Practice and Theory** 49(2014)167–179.

LACORTT, M.; KRIPKA, M.; KRIPKA, R.M.L. Modelos matemáticos para otimização do tráfego urbano semaforizado. **TEMA (São Carlos)**, São Carlos, v. 14, n. 3, p. 359-372, dez. 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2179-84512013000300008&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-84512013000300008&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 11 abr. 2017.

LAW, A. M. **Simulation Modeling & Analysis**. 4. ed. Boston: Ed. McGraw-Hill, 2007.

LEAL, F.; *et al.* Desenvolvimento e aplicação de uma técnica de modelagem conceitual de processos em projetos de simulação: o IDEF-SIM. IN: **Anais do XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Salvador, BA, 2009.

MARTINS, R. A. **Abordagem Quantitativa e Qualitativa**. IN: MIGUEL, P. A. C. (coor). Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Processos. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2010.

MITROFF, I.I; BETZ, F; PONDY, L.R; SAGASTI, F. On managing science in the systems age: two schemas for the study of science as a whole systems phenomenon. **Interfaces**, vol. 4, n. 3, p. 46-58, 1974.

MORABITO, R; PUREZA, V. **Modelagem e Simulação**. IN: MIGUEL, P. A. C. (coor). Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Processos. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2010.

MUNIZ, L. R; GUIMARÃES, I. F G.; CAMPOS, M. S. Aplicação da simulação computacional para análise do tráfego no cruzamento central da cidade histórica de Mariana-MG. IN: **XXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**. Salvador, BA, Brasil, 06 a 09 de outubro de 2009.

OLIVEIRA, P. B. **Implementação de um modelo de simulação para avaliação do sistema produtivo e seu respectivo comportamento frente à mudança no volume de produção em uma montadora de veículos automotivos adaptados**. 52 f. TCC – Graduação em Engenharia de Produção, Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto. 2012.

OR/MS Today. Institute for Operations Research and Management Sciences. 2015. Disponível em: <<http://www.orms-today.org/>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

PARAGON – Decision Science. 2017. Disponível em: <<http://www.paragon.com.br/>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

PEREIRA, D. E. A. **Modelagem e simulação computacional numérica do sistema de trânsito do anel viário do campus da UFFJ**. 66 f. TCC – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2006.

PRADO, D.S. **Teoria das filas e da Simulação**. Belo Horizonte, Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

SAKURADA, N; MIYAKE, I. Estudo comparativo de softwares de simulação de eventos discretos aplicados na modelagem de um exemplo de loja de serviços. In: **Associação Brasileira de Engenharia de Produção. XXIII ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção**; 2003; Ouro Preto, Brasil. Porto Alegre: ABEPRO; 2003.

SOARES, L. R. **Engenharia de tráfego**. Rio de Janeiro: Almeida Neves, p. 269, 1975.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.