



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS  
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA  
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

**Filipe de Oliveira Máximo**

# **SISTEMA PARA CONTROLE DE FLUXO DE VEÍCULOS EM UMA REDE DE VIAS**

Manaus  
2015

Filipe de Oliveira Máximo

# SISTEMA PARA CONTROLE DE FLUXO DE VEÍCULOS EM UMA REDE DE VIAS

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade do Estado do Amazonas como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro, em conformidade com as normas ABNT.

Orientador Luis Delfin Rojas Purón

Manaus  
2015

**Filipe de Oliveira Máximo**

**SISTEMA PARA CONTROLE DE FLUXO DE  
VEÍCULOS EM UMA REDE DE VIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade do Estado do Amazonas como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro, em conformidade com as normas ABNT.

Trabalho aprovado. Manaus, 20 de junho de 2015:

---

**Dr. Luis Delfin Rojas Purón**  
Orientador

---

**Dr. Walter Andres Vermehren  
Valenzuela**  
Presidente da banca

---

**Dr. Israel Mazaira Morales**  
Convidado 1

---

**Dr. Reinel Beltran Aguedo**  
Convidado 2

Manaus  
2015

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida, vindo dele toda a força para superar as dificuldades.

À minha família, e em especial aos meus pais e irmão, Maria Betânia de Oliveira Máximo, Inocêncio Máximo da Costa Sobrinho e Hugo de Oliveira Máximo, pelo apoio, incentivo, compreensão, ensinamentos para a vida e educação que os mesmos me proporcionaram, e por sempre estarem ao meu lado quando precisei.

À Universidade do Estado do Amazonas, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a aprendizagem e aquisição de conhecimento.

À Fundação Nokia de Ensino, pelos conhecimentos que eu adquiri durante meu Ensino Médio, que me serviram de base para enfrentar esses anos de faculdade.

À Izoneide Leite dos Santos, por estar sempre ao meu lado tanto em âmbito pessoal e acadêmico, por ser ao mesmo tempo minha namorada e amiga, por ser essa pessoa maravilhosa, guerreira e inteligente, e pelo seu espírito de perseverança de sempre correr atrás de seus objetivos.

Aos meus amigos Antonio Benjamin, Rodrigo Santa Rita, Isabelle Stoco, Rafael Goulart, Dilermando Ferreira, Eiji Maeda, Márcio Máximo, Julie Maxwell, André Serudo, Ludmilla Peres, Waldomiro Freire, Anderson Raid, Diogo Mendonça, Carlos Alberto, Jackson Melo, Lucas Araújo, Talita Timbó, Nilteomar Gabay, Lucas Bonetti, Dianny Pontes, por todos esses anos de amizade e companheirismo.

À MANAUSTRANS, por fornecer de maneira fácil e cordial os dados para esse projeto.

Agradeço ao meu orientador Luis Delfin Rojas Puron pela divisão de conhecimentos a mim proporcionados durante a construção dessa monografia e pela receptividade quando o procurei para que o mesmo me orientasse.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

*“Ninguém baterá tão forte quanto a vida.  
Porém, não se trata de quão forte pode bater,  
se trata de quão forte pode ser atingido  
e continuar seguindo em frente.  
É assim que a vitória é conquistada.”  
(Rocky Balboa)*

## RESUMO

Este projeto tem como objetivo realizar o controle de tráfego em trechos das Avenidas Djalma Batista, Constantino Nery, Pedro Teixeira e da rua Rondônia, utilizando a técnica de controle fuzzy em conjunto com redes neurais, utilizando o software MATLAB® em conjunto com o software de simulação de tráfego SUMO em uma relação de servidor-cliente entre eles, com um controlador neuro-fuzzy realizando as mudanças necessárias em tempo real nos tempos dos semáforos a partir das condições do trânsito na área controlada, para que haja uma maior fluidez no fluxo de veículos, uma diminuição nas filas nos sinais e, com isso, uma melhora nas condições de tráfego da região. Como resultados das simulações, houve uma diminuição de 8,24% no tempo de viagem dos veículos dentro da área utilizada para este trabalho.

**Palavras-chaves:** Controlador Neuro-Fuzzy, Lógica Fuzzy, Redes Neurais, trânsito, controle de tráfego, simulação

## ABSTRACT

The project objective is to Perform the traffic control in stretches of Djalma Batista, Constantino Nery, Pedro Teixeira Avenues and Rôndonia Street, using the technique of fuzzy control in conjunction with neural networks, using the Matlab software in conjunction with the traffic simulation software SUMO in a client-server relationship, with the controller neuro-fuzzy making the necessary changes in real time in traffic lights from the conditions of traffic on the controlled area, to achieve a better fluidity on the traffic flow, a decrease in the queues on traffic lights and thereby improve traffic conditions in the area. As a result of the simulation, there was a decrease of 8,24% in vehicle travel time within the area used for this work

**Key-words:** Neuro-fuzzy controller, Fuzzy Logic, Neural Networks, traffic, traffic control, simulation

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Frota de Automóveis - Região Metropolitana de Manaus (2001 a 2012)	14
Figura 2 – Diagrama de Estágios	19
Figura 3 – Interseção com os movimentos permitidos assinalados.	20
Figura 4 – Agente atuando no ambiente por intermédio de agentes de reforço.	20
Figura 5 – Interseção criada dentro do software SUMO	22
Figura 6 – Agente atuando no ambiente por intermédio da técnica de aprendizado por reforço	23
Figura 7 – Cruzamento simples criado no ITSUMO	24
Figura 8 – Cruzamento disposto em matriz 3x3 no ITSUMO	25
Figura 9 – Relação entre os processos não lineares que compõem o trânsito	28
Figura 10 – Representação do Fluxo Livre	29
Figura 11 – Representação do Fluxo Sincronizado	30
Figura 12 – Representação do Congestionamento Móvel	30
Figura 13 – (a)Conjunto Clássico b)Conjunto Fuzzy	32
Figura 14 – Modelo Geral do Neurônio	32
Figura 15 – Modelo de Rede Neural	33
Figura 16 – Configuração de uma rede Neuro-Fuzzy	34
Figura 17 – Modelo Geral do Neurônio	35
Figura 18 – OpenStreetMap	36
Figura 19 – Interface do JOSM	37
Figura 20 – Esquema do TraCI4MATLAB	39
Figura 21 – Área de estudo do trabalho	41
Figura 22 – Mapa recém exportado do <i>OpenStreetMap</i>	42
Figura 23 – Cruzamento sem a união de nós próximos	43
Figura 24 – Cruzamento com a união de nós próximos	44
Figura 25 – Representação da direita livre no simulador	44
Figura 26 – Esquema de funcionamento de um laço de indução	45
Figura 27 – Laços indutivos na simulação	45
Figura 28 – Movimentações permitidas no cruzamento entre Av. Pedro Teixeira e Constantino Nery	47
Figura 29 – Movimentações permitidas no cruzamento entre Av. Pedro Teixeira e Djalma Batista	48
Figura 30 – Movimentações permitidas no cruzamento entre a Av. Djalma Batista e Rua Rondônia	49
Figura 31 – Sistema <i>Fuzzy</i> para cálculo de equivalência de tráfego	50
Figura 32 – Representação dos conjuntos <i>fuzzy</i> da variável Tipo de Carro	51

Figura 33 – Representação dos conjuntos <i>fuzzy</i> da variável Quantidade de veículos .	52
Figura 34 – Superfície do Sistema de Cálculo de Equivalência . . . . .	53
Figura 35 – Controlador <i>Fuzzy</i> do cruzamento entre as Av. Djalma Batista e Rua Rondônia . . . . .	54
Figura 36 – Conjuntos <i>Fuzzy</i> definidos para a variável de quantidade de veículos na rua Rondônia . . . . .	54
Figura 37 – Conjuntos <i>Fuzzy</i> definidos para a variável de quantidade de veículos na Av. Djalma Batista no sentido centro . . . . .	55
Figura 38 – Conjuntos <i>Fuzzy</i> definidos para a variável de quantidade de veículos na Av. Djalma Batista no sentido bairro . . . . .	56
Figura 39 – Controlador <i>Fuzzy</i> do cruzamento entre as Av. Djalma Batista e Rua Rondônia . . . . .	57
Figura 40 – Conjuntos <i>Fuzzy</i> definidos para a variável de quantidade de veículos na Av. Djalma Batista no sentido bairro . . . . .	58
Figura 41 – Conjuntos <i>Fuzzy</i> definidos para a variável de quantidade de veículos na Av. Djalma Batista no sentido centro . . . . .	59
Figura 42 – Controlador <i>Fuzzy</i> do cruzamento entre as Av. Djalma Batista e Rua Rondônia . . . . .	60
Figura 43 – Conjuntos <i>Fuzzy</i> definidos para a variável de quantidade de veículos na Av. Constantino Nery no sentido centro . . . . .	61
Figura 44 – Conjuntos <i>Fuzzy</i> definidos para a variável de quantidade de carros na Av. Constantino no sentido bairro . . . . .	61
Figura 45 – Conjuntos <i>Fuzzy</i> definidos para a variável de quantidade de veículos na Av. Pedro Teixeira entre as Av. Djalma Batista e Constantino Nery. . .	62
Figura 46 – Conjuntos <i>Fuzzy</i> definidos para a variável de quantidade de veículos na Av. Pedro Teixeira . . . . .	63
Figura 47 – Bloco de predição de dados . . . . .	64
Figura 48 – Código para definição e treinamento de cada Rede Neural . . . . .	64
Figura 49 – Interface da ferramenta <i>nntraintool</i> . . . . .	65
Figura 50 – Rede Neural para predição de fluxo no trecho da Av. Djalma Batista no sentido bairro no cruzamento entre as Av. Djalma Batista e Pedro Teixeira sem treinamento . . . . .	66
Figura 51 – Resultado do treinamento da Rede Neural para predição de fluxo no trecho da Av. Djalma Batista no sentido bairro no cruzamento entre as Av. Djalma Batista e Pedro Teixeira . . . . .	66
Figura 52 – Resultado do treinamento da Rede Neural para predição de fluxo no trecho da Av. Djalma Batista no sentido bairro no cruzamento entre as Av. Djalma Batista e Rua Rondônia . . . . .	67

Figura 53 – Resultado do treinamento da Rede Neural para predição de fluxo no trecho da Av. Djalma Batista no sentido centro no cruzamento entre as Av. Djalma Batista e Rua Rondônia . . . . .	67
Figura 54 – Resultado do treinamento da Rede Neural para predição de fluxo no trecho da Av. Djalma Batista no sentido centro no cruzamento entre as Av. Djalma Batista e Pedro Teixeira . . . . .	68
Figura 55 – Resultado do treinamento da Rede Neural para predição de fluxo no trecho da Av. Pedro Teixeira ao lado da Arena da Amazônia . . . . .	68
Figura 56 – Resultado do treinamento da Rede Neural para predição de fluxo no trecho da Av. Pedro Teixeira entre as Av. Djalma Batista e Av. Constantino Nery . . . . .	69
Figura 57 – Resultado do treinamento da Rede Neural para predição de fluxo na Rua Rondônia . . . . .	69
Figura 58 – Resultado do treinamento da Rede Neural para predição de fluxo na Av. Constantino Nery no sentido centro . . . . .	70
Figura 59 – Resultado do treinamento da Rede Neural para predição de fluxo na Av. Constantino Nery no sentido bairro . . . . .	70
Figura 60 – Fluxograma de funcionamento da simulação . . . . .	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados Obtidos pela simulação . . . . .	21
Tabela 2 – Comparação entre os resultados com tempo fixo e Redes Neurais com Base Radial para um cruzamento. . . . .	26
Tabela 3 – Comparação entre os resultados com tempo fixo e Redes Neurais com Base Radial para nove cruzamento. . . . .	26
Tabela 4 – Resumo dos Três Parâmetros de cada fase . . . . .	31
Tabela 5 – Valor de Equivalência em carros de passeio . . . . .	46
Tabela 6 – Fluxo na hora de pico do horário da tarde por hora nas Av. Pedro Teixeira e Constantino Nery . . . . .	47
Tabela 7 – Fluxo na hora de pico do horário da tarde por hora nas Av. Pedro Teixeira e Djalma Batista . . . . .	48
Tabela 8 – Fluxo na hora de pico do horário da tarde por hora nas Av. Djalma Batista e Rua Rondônia . . . . .	49
Tabela 9 – Conjuntos <i>Fuzzy</i> definidos para a variável do tipo de carro . . . . .	52
Tabela 10 – Conjuntos <i>Fuzzy</i> definidos para a variável de quantidade de carros . . . . .	53
Tabela 11 – Conjuntos <i>Fuzzy</i> definidos para a variável de quantidade de carros na rua Rondônia . . . . .	55
Tabela 12 – Conjuntos <i>Fuzzy</i> definidos para a variável de quantidade de carros na Av. Djalma Batista no sentido centro. . . . .	56
Tabela 13 – Conjuntos <i>Fuzzy</i> definidos para a variável de quantidade de carros na Av. Djalma Batista no sentido bairro. . . . .	56
Tabela 14 – Valores da saída do controlador. . . . .	57
Tabela 15 – Conjuntos <i>Fuzzy</i> definidos para a variável de quantidade de carros na Av. Djalma Batista no sentido bairro. . . . .	58
Tabela 16 – Conjuntos <i>Fuzzy</i> definidos para a variável de quantidade de carros na Av. Djalma Batista no sentido centro . . . . .	59
Tabela 17 – Valores da saída do controlador. . . . .	59
Tabela 18 – Conjuntos <i>Fuzzy</i> definidos para a variável de quantidade de carros na Av. Constantino no sentido centro . . . . .	61
Tabela 19 – Conjuntos <i>Fuzzy</i> definidos para a variável de quantidade de carros na Av. Constantino no sentido bairro . . . . .	62
Tabela 20 – Conjuntos <i>Fuzzy</i> definidos para a variável de quantidade de carros na Av. Djalma Batista no sentido centro . . . . .	62
Tabela 21 – Conjuntos <i>Fuzzy</i> definidos para a variável de quantidade de carros na Av. Pedro Teixeira . . . . .	63
Tabela 22 – Valores da saída do controlador. . . . .	63

Tabela 23 – Comparação entre o tempo médio de viagem dos veículos com semáforos atuando com o tempo fixo e com tempo regulado pelos controladores . 73

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO . . . . .	14
1.1	Justificativa . . . . .	15
1.2	Motivação . . . . .	15
1.3	Objetivo geral . . . . .	16
1.3.1	Objetivos específicos . . . . .	16
1.4	Metodologia . . . . .	16
1.5	Estrutura do documento . . . . .	17
2	ESTADO DA ARTE . . . . .	19
2.1	Modelagem Fuzzy para o problema de temporização semafórica em interseções de quatro tempos . . . . .	19
2.2	Estudo para aprimoramento da operação de controladores semafóricos Fuzzy . . . . .	21
2.3	Controle inteligente de semáforos utilizando Redes Neurais Artificiais com funções de base radial . . . . .	23
3	REFERENCIAL TEÓRICO . . . . .	27
3.1	Teoria de tráfego . . . . .	27
3.2	Método de controle utilizado . . . . .	31
3.2.1	Lógica Fuzzy . . . . .	31
3.2.2	Redes Neurais . . . . .	32
3.2.3	Sistemas Neuro-Fuzzy . . . . .	33
3.3	Aplicativos utilizados . . . . .	34
3.3.1	SUMO . . . . .	34
3.3.2	JOSM . . . . .	35
3.3.3	MATLAB® E SIMULINK® . . . . .	37
4	DESENVOLVIMENTO . . . . .	38
4.1	Comunicação entre SUMO e MATLAB® . . . . .	38
4.2	Malha viária utilizada . . . . .	40
4.2.1	Escolha da área a ser utilizada no trabalho . . . . .	40
4.2.2	Modificação, correção e conversão dos mapas para o formato SUMO . . . . .	41
4.2.3	Dados referentes ao tráfego . . . . .	45
4.3	Controle do sistema . . . . .	49
4.3.1	Padronização do Fluxo de Veículos . . . . .	49
4.3.2	Projeto do Controle de Tempo dos semáforos . . . . .	53

4.3.3	Predição do tráfego por Redes Neurais . . . . .	63
4.4	Funcionamento da simulação . . . . .	71
5	RESULTADOS OBTIDOS . . . . .	72
6	CONCLUSÕES . . . . .	75
6.1	Dificuldades encontradas . . . . .	75
6.2	Trabalhos futuros . . . . .	75
	REFERÊNCIAS . . . . .	77
	APPENDIX A – REGRAS DO CONTROLADOR DO SEMÁ- FORO DO CRUZAMENTO ENTRE A RUA RONDÔNIA E AV. DJALMA BATISTA .	79
	APPENDIX B – REGRAS DO CONTROLADOR DO SEMÁ- FORO DO CRUZAMENTO ENTRE A AV. PEDRO TEIXEIRA E AV. CONSTANTINO NERY . . . . .	82
	APPENDIX C – REGRAS DO CONTROLADOR DO SEMÁ- FORO DO CRUZAMENTO ENTRE A AV. PEDRO TEIXEIRA E AV. DJALMA BA- TISTA . . . . .	90

# 1 INTRODUÇÃO

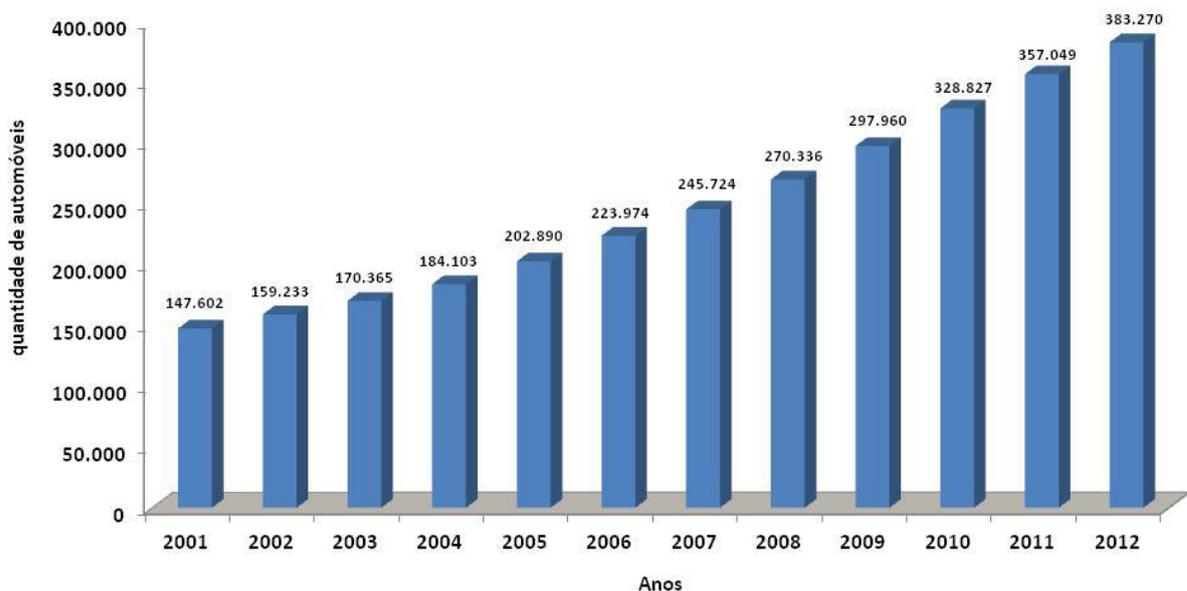
As metrópoles brasileiras têm enfrentado nos últimos anos o que podemos chamar de uma “crise da mobilidade urbana”, onde o ritmo de crescimento no número de veículos supera o da população, na maioria dos casos. Um sistema eficiente de mobilidade é essencial para o acesso ao mercado de trabalho, à educação, ao consumo e ao lazer, ou seja, é uma condição fundamental para a construção do chamado bem-estar urbano.

Em relatório realizado pelo Instituto Nacional de Tecnologia Observatório das Metrópoles, de 2001 a 2012, o aumento da frota de veículos automotores no Brasil foi da ordem de 34,9 milhões para mais 76,1 milhões de veículos, caracterizando um aumento de 138,6%. Dentre todas as metrópoles brasileiras, a frota de veículos em Manaus foi a que mais cresceu. Manaus teve um crescimento de 159,7% durante esse período, o que implica na adição de mais de 235 mil veículos à frota manauara. Percentualmente, esse crescimento foi maior que o dobro da média das outras metrópoles nacionais.

O crescimento na frota de veículos de Manaus continua a ser observado na cidade, visto que apenas nos dois primeiros meses do ano de 2014 houve um aumento de 10 mil veículos, considerando-se apenas a quantidade de veículos novos.

Tal aumento na frota de veículos não foi acompanhado pela infraestrutura viária da cidade, apesar de o governo ter realizado obras ao longo dos anos no intuito de melhorar o trânsito na cidade, essas obras ainda não conseguiram atingir todas as áreas onde há estrangulamento de tráfego, gerando inconvenientes para os usuários do transporte em geral.

Figura 1 – Frota de Automóveis - Região Metropolitana de Manaus (2001 a 2012)



Fonte: (OBSERVATÓRIO, 2013)

## 1.1 Justificativa

Melhorias nas condições de trânsito trazem benefícios substanciais de forma direta e indireta tanto àqueles considerados partes atuantes na utilização do tráfego quanto os menos atuantes. Vantagens tais como a diminuição do stress causado diariamente e um aumento na satisfação dos usuários. Conforme Santos, Cardoso e Santos (2012), o estresse é prejudicial no âmbito do trânsito, em razão de suas consequências que possam vir a desencadear os seus efeitos não apenas no motorista estressado, mas também nos outros condutores. Santos, Cardoso e Santos (2012) salienta que o trânsito pode ser prejudicial à saúde física e psíquica daquele que conduz o veículo, causando, por exemplo, estresse, fadiga, ansiedade, depressão, fobias, doenças cardiovasculares, gastrointestinais, músculo esquelética, dor nas costas e pescoço entre outros. Esses problemas de saúde podem manifestar-se de maneira precoce e com maior intensidade em indivíduos que convivem com a realidade do tráfego com mais frequência e por maiores períodos de tempo.

Com este trabalho, o tempo desperdiçado pelo usuário do transporte da cidade, seja ele usuário do transporte público ou particular, poderá ser diminuindo, evitando assim que a população seja atingida por uma carga de estresse maior diariamente.

Este trabalho possui, como justificativa acadêmica a utilização dos conhecimentos adquiridos nas disciplinas de Controle e Automação I, Controle e Automação II, Controle e Automação III, Inteligência Artificial Aplicada a Automação e Redes e Sistemas Distribuídos.

## 1.2 Motivação

Dentre as várias características partilhadas pelas grandes metrópoles, umas delas sempre retorna a pauta de estudos: o crescimento contínuo da frota de veículos e a maneira de lidar com tal problema.

Os usuários do trânsito procuram e anseiam por se deslocar para os seus devidos destinos de maneira rápida, segura e confortável. Isso se torna um problema nas metrópoles, pelo fato do crescimento populacional e da frota de veículos não ser acompanhado por obras de infraestrutura viária, pois mesmo que hajam continuas obras para a melhoria das condições de trânsito, dificilmente as mesmas conseguiriam acompanhar o crescimento de uma população de veículos. Segundo Santos, Cardoso e Santos (2012), a realidade tem mostrado que o crescimento da frota de veículos vem ameaçando cada vez mais a integridade das pessoas, requerendo medidas mais efetivas, visto que este fato pode causar mais acidentes, congestionamentos e, por conseguinte, estresse nos condutores.

Consequentemente vários outros setores são atingidos com tal condição, pois o trânsito não é apenas movimentação de pessoas. Neste meio, também estão incluídos o transporte de bens e a prestação de serviços. Serviços deixam de ser prestados, mercadorias sofrem

atrasos em suas entregas por enfrentas filas quilométricas de congestionamento, causando prejuízos financeiros aos prestadores e aos requisitadores do serviço ou das mercadorias. De acordo com RESENDE e SOUSA (2009), congestionamentos constantes em certas regiões adicionam custos extras significativos nos produtos por causa do transporte e atrasos pessoais. Isso pode levar à redução da eficiência econômica de uma região. O congestionamento desestimula empresas e pessoas a se estabelecerem em uma região e, ao mesmo tempo, encoraja empresas ali localizadas a procurarem outro local, com menos congestionamento, para futura expansão de capacidade.

## 1.3 Objetivo geral

Esse trabalho propõe uma alternativa para amenizar a situação do trânsito da cidade, de maneira a gerenciar o fluxo de veículos utilizando um sistema de controle, baseado em Redes Neurais e em Lógica Fuzzy, capaz de aprender com as condições do trânsito e buscar a melhor solução, realizando a mudança de tempos dos semáforos de três importantes cruzamentos da cidade que se influenciam entre si.

### 1.3.1 Objetivos específicos

- Garantir a comunicação entre o software de simulação de Tráfego(SUMO) e o software utilizado para o controle do sistema(MATLAB).
- Definir uma demanda de tráfego a partir de dados fornecidos e coletados na área escolhida para o trabalho.
- Projetar o Controlador Fuzzy e a Rede Neural, aplicando-os no sistema de trânsito da área escolhida como objeto de estudo.
- Adicionar ao sistema de semáforos da área os controladores projetados, com o intuito de melhorar as condições de trânsito na região.
- Realizar a análise dos resultados e compará-los à simulações realizadas com tempo fixo de semáforos.

## 1.4 Metodologia

A primeira ação a ser tomada para a execução deste projeto foi o levantamento bibliográfico de material da área de Engenharia de Tráfego e Inteligência Artificial, para adquirir embasamento teórico dos assuntos em questão.

Após a realização do levantamento bibliográfico, será realizada a escolha do software de simulação de trânsito e o software de controle que serão utilizados para realizar as simulações

no trabalho, considerando a compatibilidade entre os softwares, a disponibilidade do mesmo e a maneira na qual o mesmo lida com mapas reais exportados de outras plataformas.

Com os softwares definidos, será necessário definir a área que seria utilizada para a simulação de tráfego, bem como obter os dados do trânsito, considerando a incidência de congestionamento e o alto fluxo de veículos.

Após a definição da área para a simulação, será realizada a exportação do mapa da área por intermédio do banco de dados da plataforma OpenStreetMap, além de correções do mesmo. Assim, sendo, será feita a conversão do mapa para o formato padrão do SUMO, bem como inseridas as informações de fluxo de veículos coletadas.

Depois de realizar as simulações de tempo fixo, serão realizadas as coletas de dados e análise de informações da simulações. A partir disso, será possível realizar o projeto dos controladores Fuzzy utilizados para o controle dos cruzamentos.

Com os controladores projetados, serão criadas as Redes Neurais para a predição de dados do fluxo de veículos, por meio de treinamentos utilizando os valores das simulações com tempo fixo.

Definidas os controladores e as Redes Neurais, serão realizadas simulações, com o intuito de comparar a maneira na qual o sistema se comporta com os semáforos utilizando tempos fixos e os semáforos com os seus tempos definidos pelos controladores.

## 1.5 Estrutura do documento

A estrutura do trabalho está composta em seis capítulos dispostos da seguinte maneira:

No capítulo 1 é exposta uma introdução do trabalho, com as suas devidas justificativas, as motivações para realizá-lo, os objetivos definidos para o trabalho, a metodologia que foi utilizada e a disposição dos capítulos que compõem o trabalho.

No capítulo 2 são apresentados trabalhos que de alguma forma possuem uma relação com o projeto, descrevendo de maneira resumida o propósito dos mesmos, suas execuções e os resultados encontrados por seus autores.

No capítulo 3 é realizado o referencial teórico, onde são abordadas os conhecimentos técnicos teóricos utilizados para a realização do trabalho, bem como é feita uma descrição das ferramentas e softwares utilizados.

No capítulo 4 são apresentados os materiais utilizados e como os mesmos se relacionam, abordando as comunicações e os algoritmos implementados para garantir o funcionamento do sistema.

No capítulo 5 são mostrados as simulações e testes e o estudo das respostas. Também é realizada uma análise dos resultados levando em consideração parâmetros definidos para medir o desempenho do controle do sistema.

No capítulo 6 são feitas as conclusões do projeto, a partir dos resultados obtidos, realizando uma análise dos dados que foram gerados. Também foram expostas as dificul-

dades encontradas durante a realização do mesmo e as sugestões para a implementação de melhorias em trabalhos futuros.

Nos capítulos 7, 8, 9 e 10 são inclusos apêndices, nos quais são apresentadas as regras dos controladores *fuzzy* que realizam a modificação dos tempos dos semáforos e alguns gráficos referentes ao treinamento das Redes Neurais utilizadas nesse trabalho.

## 2 ESTADO DA ARTE

### 2.1 Modelagem Fuzzy para o problema de temporização semafórica em interseções de quatro tempos

Neste artigo (TORRES; LEAL; ALMEIDA, 2014) dedicam-se à aplicação da Lógica Fuzzy em uma única interseção com quatro tempos de controle. Ao longo do artigo, é abordada a idéia de otimização do tempo de verde do semáforo considerando dois estados: elevada e seccionada intensidade de tráfego.

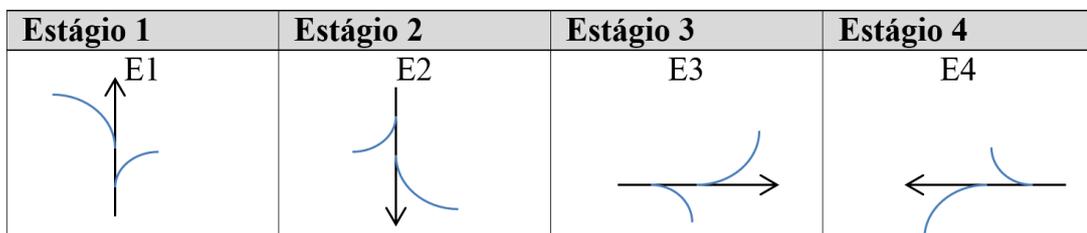
O objetivo geral do trabalho consiste em utilizar uma ferramenta de inteligência computacional para resolver um problema de otimização referente ao tempo de verde de semáforos presentes em uma única interseção de trânsito. Tendo como parâmetro de comparação a finalidade de mensurar a qualidade obtida nas soluções, o tempo médio de permanência dos veículos na interseção foi utilizado como medida de avaliação.

Para a execução do artigo, dois cenários, C1 e C2, foram elaborados com o intuito de avaliar a qualidade do modelo fuzzy em relação aos estados estáticos de tempo de verde nos semáforos de uma interseção.

A configuração inicial C1 do tempo de verde é estática e composta por 15 segundos de tempo de verde para todos os sinais durante todo o período de 24 horas do dia. A configuração C2 apresenta os tempos de verde resultante do processamento *fuzzy* proposto no trabalho.

A interseção utilizada como objeto de estudo do trabalho consiste em um cruzamento entre duas ruas, ambas com vias nos dois sentidos, e cada um desses sentidos composto por duas faixas para tráfego de veículos.

Figura 2 – Diagrama de Estágios



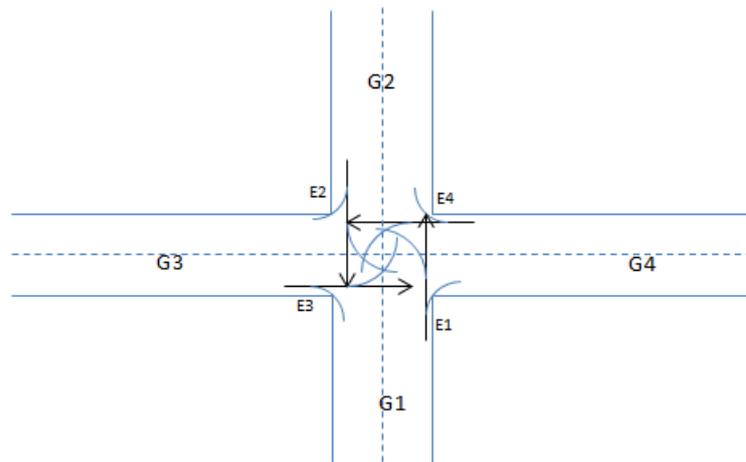
Fonte: (TORRES; LEAL; ALMEIDA, 2014)

Neste cruzamento, foram permitidos conversões tanto a direita quanto à esquerda, não importando o ponto de entrada ou o seu destino no cruzamento, restringindo apenas retornos no cruzamento, sendo os movimentos permitidos dentro da interseção foram separados em 4 estágios. Esses estágios definem os movimentos permitidos que um fluxo

de veículos podem realizar durante a ação de chegar ao seu destino definido. A figura 2 ilustra os 4 estágios de movimento, dentro do cruzamento utilizado no trabalho.

É possível observar a maneira na qual os estágios estão dispostos no cruzamento na figura 3:

Figura 3 – Interseção com os movimentos permitidos assinalados.



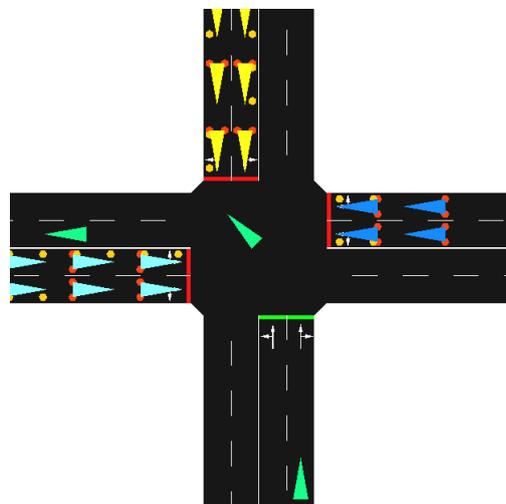
Fonte: (TORRES; LEAL; ALMEIDA, 2014)

Para a realização da simulação e os testes de gerenciamento do trânsito, foi utilizado o software de simulação de tráfego SUMO (*Simulation of Urban Mobility*).

A simulação foi realizada considerando um cenário de um dia útil de 24 horas, sendo considerados dois horários de pico dentro dessas 24 horas, nos quais o fluxo de veículos seria consideravelmente maior do que nos demais horários do dia.

Levou-se em consideração que o fluxo de veículos era composto de apenas uma categoria, e todos os mesmos possuíam características semelhantes de comportamento (aceleração, desaceleração, tempo de reação a ações, etc).

Figura 4 – Agente atuando no ambiente por intermédio de agentes de reforço.



Fonte: (TORRES; LEAL; ALMEIDA, 2014)

Na figura 4, pode-se observar a interseção utilizada na simulação.

O controle Fuzzy foi realizada de maneira *offline*, isto é, foi projetado a partir de dados coletados antes da simulação, e não considera as condições da simulação em si. Com isso, mantém as suas condições de controle inalterada, principalmente em relação a base regras na qual o controlador Fuzzy está empregando no sistema. Porém, todas as simulações foram realizadas com os mesmos dados de demanda de tráfego, tornando os resultados dos testes mais fidedignos. A média aritmética do tempo dos veículos na interseção para C1 (modelagem estática) e C2 (modelagem fuzzy) no primeiro horário de pico P1 do dia foi de, respectivamente, 478.7041 e 182.8697 segundos.

Já para o segundo horário de pico do dia, P2, a média de tempo de permanência dos veículos utilizados na amostra foi de, respectivamente, 577.5056 e 322.8549 segundos. Isso mostra a eficácia do modelo fuzzy em relação ao modelo de tempo fixo. O menor tempo dos veículos dentro do cruzamento indica uma maior fluidez do trânsito no cruzamento utilizado no trabalho. A Tabela 1 apresenta os dados obtidos a partir da simulação:

Tabela 1 – Resultados Obtidos pela simulação

Experimento	População	Amostra	Erro Padrão	Média de tempo para C1	Média de tempo para C2	Diferenças entre Médias
P1	5570	5000	1.8912	478.7041	182.8697	296.1712
P2	6766	5000	1.3197	577.5056	322.8549	255.4280

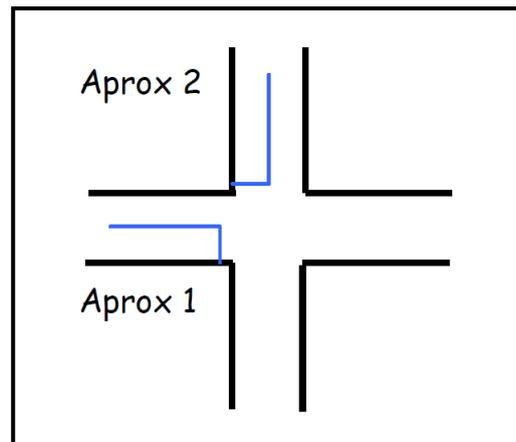
Fonte:([TORRES; LEAL; ALMEIDA, 2014](#))

## 2.2 Estudo para aprimoramento da operação de controladores semafóricos Fuzzy

Em sua tese de mestrado, ([ANDRADE, 2010](#)) abordou um procedimento para o ajuste *on-line* dos conjuntos fuzzy relacionados às variáveis de entrada de um controlador semafórico dentro de um cruzamento composto por duas áreas de aproximação, nas quais terão seus tempos de verde e vermelho controlados.

Essa abordagem se faz necessária devido os controladores Fuzzy, segundo a literatura, geralmente mantém suas regras de controle inalteradas. Essa condição torna os controladores Fuzzy suscetíveis a falhas quando se trata do controle de sistemas que se comportam de maneira altamente diferente dependendo do horário, como por exemplo o próprio trânsito, pois a percepção do trânsito pode ser diferente dependendo do momento do dia.

Figura 5 – Interseção criada dentro do software SUMO



Fonte: (ANDRADE, 2010)

Para o projeto do controlador Fuzzy, as variáveis linguísticas seriam utilizadas para definir o tráfego de veículos e a maneira como o controlador iria lidar com o fluxo. Logo, foram definidas as variáveis linguísticas de controlador, que são:

- Variáveis de Entrada

**Fila:** número de veículos na via do cruzamento que está recebendo a indicação de vermelho;

**Chegada:** número de veículos do na via do cruzamento que está recebendo a indicação de verde;

- Variáveis de Saída:

**Extensão:** extensão dada ao tempo de verde corrente, ou seja, extensão de tempo de verde que é fornecida à via do cruzamento que está sendo servido;

Para adicionar a condição de ajuste *on-line* ao Controle Fuzzy, a autora utilizou uma técnica chamada de Seleção Dinâmica de Planos Fuzzy. Essa técnica consiste na criação de planos, onde cada um desses planos criados possuem suas características particulares.

Cada um desses planos possui 14 regras, que definem a maneira na qual o controlador irá atuar no sistema, com a finalidade de determinar a eficácia de cada um dos planos no sistema, a autora utilizou a quantidade de veículos que acumulam enquanto esperam a sua vez de cruzar a interseção e o tempo médio no qual os veículos permanecem na fila aguardando sua vez.

Com o intuito de melhorar o ajuste do controlador, foram desenvolvidos dois métodos para o ajuste *on-line*:

- Ajuste ao final da fase: tem a proposta de corrigir apenas na fase seguinte do semáforo as falhas detectadas no instante analisado. Caso o tempo de verde não está sendo

suficiente para atender a demanda naquele instante, o controlador mudará de plano para diminuir o tempo da outra via, no sentido de ativar o sinal verde o mais rápido possível para a via mais congestionada.

- Ajuste ao final da extensão: age de uma maneira mais imediata, no sentido de modificar o tempo de sinal verde enquanto a via está recebendo o sinal vermelho, escoando a via que está recebendo o sinal verde para assim a via que está recebendo sinal vermelho possa se manter mais tempo recebendo sinal verde.

Na intenção de testar as formas de ajuste que foram propostas, bem como ressaltada sua eficácia, sendo desenvolvidos dois programas que representam estruturas de simulação de tráfego: o primeiro utiliza fluxo fixo e o outro utiliza fluxo variável.

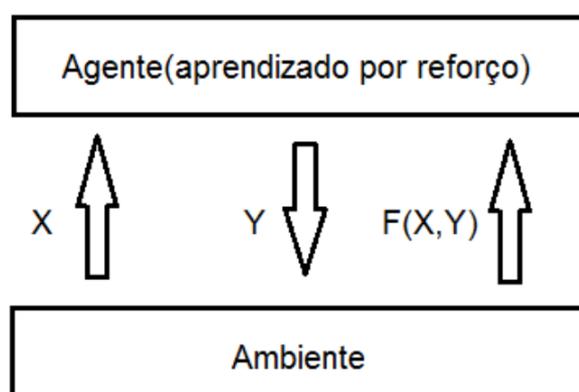
Após a simulação, concluiu-se que o controlador com seleção dinâmica de planos obteve resultados muito expressivos com fluxo fixo, em relação ao controle Fuzzy Convencional, e resultados menos expressivos, porém ainda superiores, com o fluxo variável.

## 2.3 Controle inteligente de semáforos utilizando Redes Neurais Artificiais com funções de base radial

Em sua monografia, (HEINEN et al., 2012) propôs o desenvolvimento de um sistema de controle inteligente para o trânsito. Para isso, o mesmo utilizou :

- Técnicas de Aprendizado por Reforço, por intermédio da técnica de *Q-Learning*,
- Agentes Inteligentes, por intermédio da técnica de Sistemas Multiagente
- Redes Neurais, por intermédio da técnica de Função de Base Radial(*Radial Basis Function* – RBF).

Figura 6 – Agente atuando no ambiente por intermédio da técnica de aprendizado por reforço



Fonte: (HEINEN et al., 2012)

Segundo Heinen et al. (2012), “a implementação do trabalho é baseada nos conceitos base de SMA (Sistemas multiagente)”.

No sistema multiagente, cada agente será responsável por um nó, tendo como função obter as informações do seu respectivo nó, perceber o ambiente, aprender com base nos dados coletados e, com isso, atuar na melhor ação possível com base no seu conhecimento.

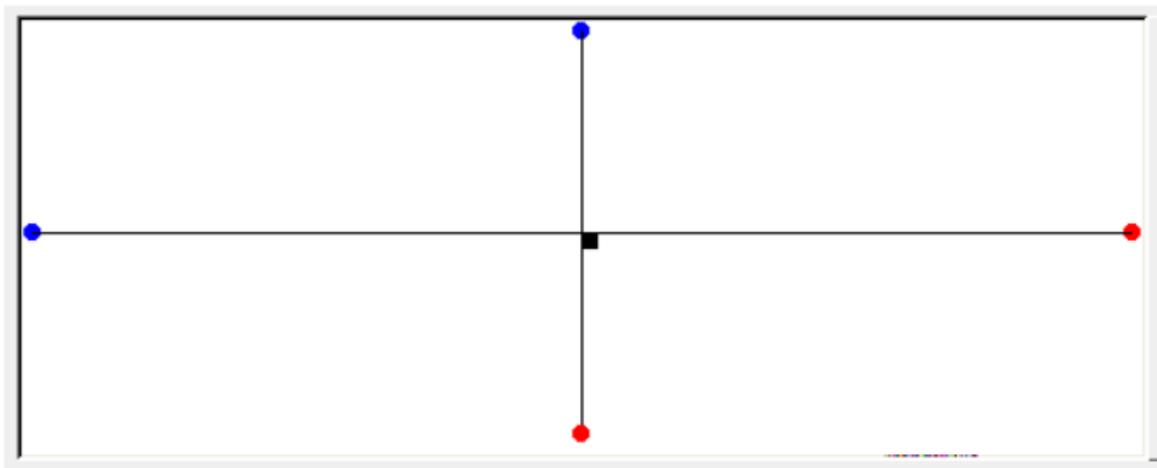
A atuação no ambiente do agente será escolher os planos de trânsito do seu nó de responsabilidade, ou seja, no cruzamento existem semáforos nos quais o agente deverá estabelecer a temporização de cada um, tanto de turnos vermelhos quanto de turnos verdes. Essa decisão será baseada em experiências que o agente já teve, podendo ser positivas, negativas ou neutras.

Essas experiências geram o conhecimento do agente, que tomará as decisões fundamentadas no aprendizado que teve a partir destas. Para reconhecer melhor como está sendo sua atuação, o agente inteligente atuará em estados do sistema, que é determinada pelo número de carros em espera em cada via que o agente monitora e cuida.

Para as simulações de controle de tráfego, o autor utilizou o *software* de simulação ITSUMO (*Intelligent Transportation System for Urban Mobility*). Esse software simula os elementos do trânsito, como ruas, veículos, demanda de fluxo, taxa de entrada de veículos e semáforos, entre outras características que definem o trânsito.

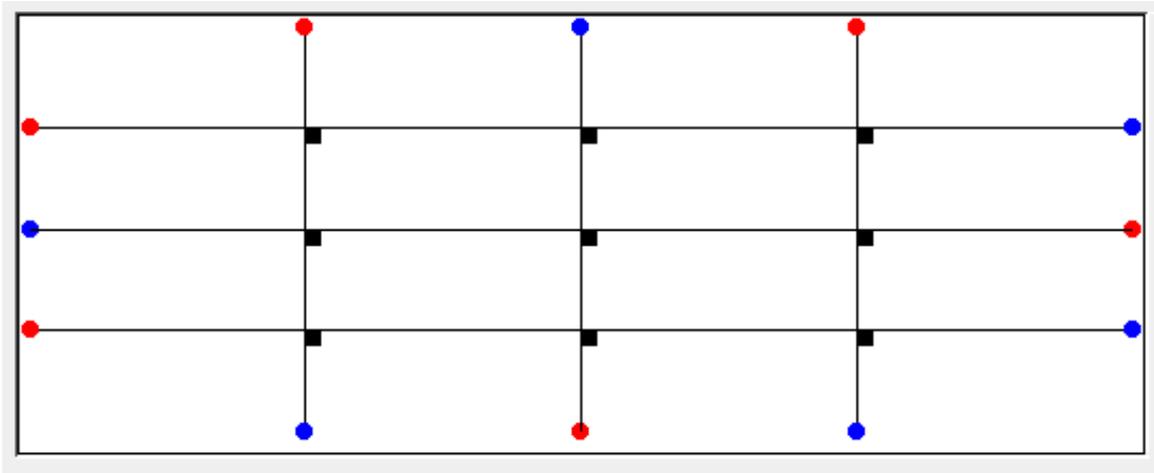
Para a execução do trabalho foram feitos dois teste: o primeiro foi realizado apenas um cruzamento, como é ilustrado na figura 7, e o segundo teste foi realizado com 9 cruzamentos, dispostos em forma de uma matriz 3x3, como podemos observar na figura 8:

Figura 7 – Cruzamento simples criado no ITSUMO



Fonte:

Figura 8 – Cruzamento disposto em matriz 3x3 no ITSUMO



Fonte: (HEINEN et al., 2012)

Para o treinamento da Rede Neural, foi utilizada uma abordagem de recompensa. Cada ação que a Rede Neural executasse recebe um valor. Dependendo da maneira na qual o fluxo se comporta e da eficácia da ação tomada, uma variável da Rede Neural recebe valores correspondentes ao comportamento. (HEINEN et al., 2012) usou a seguinte metodologia de recompensa:

- Valor -1, que representava um aumento de número de carros parados na malha, ou seja era recebido como uma punição.
- Valor 0, representa que não houve ganhas nem perdas, tendo assim o mesmo número de carros parados.
- Valor +1, que é retornado quando o número de carros diminuiu na malha, representando uma recompensa.

A partir dessa metodologia de recompensa, as ações nas quais receberam valores mais altos, isto é, foram mais efetivas em diminuir o congestionamento nos cruzamentos, são eleitas como as ações a serem tomadas. Com isso, a medida que a simulação vai avançando, ações menos efetivas vão sendo eliminadas, tornando todo o sistema mais efetivo e mais responsivo. Com isso, foram realizadas as comparações com a média de carros na simulação, onde uma quantidade menor de carros indica uma maior fluidez. Para a primeira simulação, realizada com apenas um cruzamento, os resultados podem ser visualizados na tabela 2:

Tabela 2 – Comparação entre os resultados com tempo fixo e Redes Neurais com Base Radial para um cruzamento.

Modo	Tempos Fixos	RFB
Quantidade de Veículos parados na simulação	14,41	9,22
	14,48	8,43
	13,89	8,17
	14,48	9,56
	14,63	9,75
	14,36	8,01
	14,21	8,66
	14,40	9,15
	13,94	8,86
	13,37	8,89
Média	14,21	8,87
Desvio Padrão	0,2916	0,444

Fonte: (HEINEN et al., 2012)

Utilizando-se dos mesmos parâmetros para definir a eficácia do sistema, foi realizada a mesma comparação, como é possível visualizar na tabela 3:

Tabela 3 – Comparação entre os resultados com tempo fixo e Redes Neurais com Base Radial para nove cruzamento.

Modo	Tempos Fixos	RFB
Quantidade de Veículos parados na simulação	18,73	16,54
	18,24	16,48
	18,63	15,92
	18,17	16,36
	18,19	16,60
	18,43	15,58
	18,34	14,52
	18,23	16,90
	18,28	16,46
	18,48	15,96
Média	18,37	16,13
Desvio Padrão	0,19	0,68

Fonte: (HEINEN et al., 2012)

Os resultados obtidos demonstraram uma superioridade de um modelo de controle de semáforo baseado em Redes Neurais se comparado com o modelo de tempo fixo. A menor quantidade de veículos parados na simulação demonstra uma maior fluidez no sistema.

## 3 REFERENCIAL TEÓRICO

### 3.1 Teoria de tráfego

Segundo [Kerner \(2009\)](#), o fenômeno de fluxo de tráfego está associado a um complexo padrão de comportamentos espaçotemporais. Dito espaçotemporais pelo fato das variáveis que definem o fluxo estão em função do espaço e do tempo. Variáveis essas que são:

- Taxa de Fluxo
- Densidade de Veículos
- Velocidade dos Veículos

A taxa de fluxo pode ser definida como a quantidade de veículos que passam por um ponto em questão dentro de um determinado tempo. Essa taxa é definida por:

$$q_t = \frac{Q}{T} = DxV_m \quad (3.1)$$

Onde:

$q_t$  = Taxa de fluxo[veículos/hora]

$Q$  = Quantidade de veículos;

$T$  = Tempo;

$D$  = Densidade de veículos[veículos/quilômetro];

$V_m$  = Velocidade Média do Fluxo;

Porém, um dos métodos para cálculo da Taxa de Fluxo depende da Densidade de Veículos e da Velocidade Média de Fluxo.

A densidade de veículos é definida como a razão entre a quantidade de veículos que ocupam um certo trecho de uma via.

$$D = \frac{Q}{E} \quad (3.2)$$

Onde:

$D$  = Densidade de veículos[veículos/quilômetro];

$Q$  = Quantidade de veículos;

$E$  = Distância entre início e fim do trecho determinado;

A velocidade dos veículos é calculada a partir de médias, já que dentro de um fluxo há veículos trafegando em velocidades diferentes. O cálculo da velocidade média pode ser realizado de duas maneiras:

- Velocidade Média Temporal(TMS): é a velocidade média de todos os veículos passando pelo mesmo ponto da via durante um intervalo de tempo.
- Velocidade Média Espacial (SMS): é a velocidade média de todos os veículos ocupando uma seção de estrada em um intervalo de tempo.

Essas dois métodos de cálculo de velocidade de fluxo são definidos por:

$$TMS = \frac{1}{n} \sum \frac{d}{t_i} \quad (3.3)$$

$$SMS = \frac{d}{\sum \frac{t_i}{n}} = n \frac{d}{\sum t_i} \quad (3.4)$$

onde:

$d$ = distância percorrida;

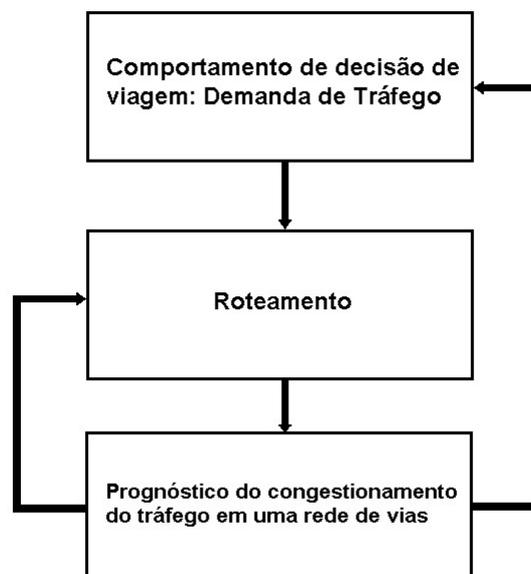
$n$  =numero de tempos de viagem observados;

$t_i$  =tempo de viagem do  $i$ -ésimo veículo;

Kerner afirma também que a complexidade do tráfego veicular se deve a interações não lineares entre 3 processos:

- Comportamento de decisão, que determina a demanda de tráfego.
- Roteamento dos veículos dentro de uma rede de vias.
- A ocorrência de congestionamento dentro de uma rede de vias.

Figura 9 – Relação entre os processos não lineares que compõem o trânsito



Fonte: (KERNER, 2009)

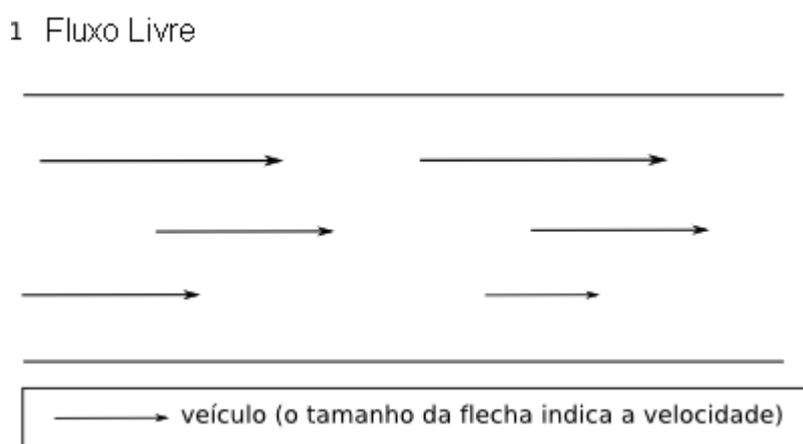
O comportamento de decisão irá determinar a demanda da viagem. O roteamento está associado ao fornecimento do tráfego. Porém, o congestionamento dentro de uma via restringe o fluxo livre de veículos. Isso acaba por influenciar tanto o comportamento de tomada de decisão dos motoristas como o roteamento nas vias. Essa relação pode ser vista na figura 9. A escolha do trecho teve como parâmetro a relação entre eles. Ações tomadas nos trechos escolhidos influenciam diretamente na demanda que os outros irão receber, devido a disposição dos mesmos.

O trânsito é um processo em constante mudança e extremamente dinâmico. Porém, mesmo com essas características é possível definir padrões de seu comportamento. Esses padrões definem diferentes características, referentes a um mesmo conjunto de parâmetros atribuídos ao trânsito.

Kerner separou esses padrões de comportamento do trânsito em três grupos, cada um com padrões específicos. Esses grupos receberam a denominação de Fase, pois, ao longo do tempo, o trânsito mudará de fase dependendo das condições nas quais ele é sujeito. Logo, foi definido que o trânsito possui as seguintes fases: Fase Fluxo Livre, Fase Fluxo Sincronizado e Fase Congestionamento Ampliado Móvel.

A Fase Fluxo Livre ocorre quando a densidade de veículos numa via é pequena o suficiente para que a interação entre eles se torne desprezível. Assim, os condutores tem a oportunidade de trafegar com a velocidade máxima desejada, obviamente limitada pelo limite de velocidade da via.

Figura 10 – Representação do Fluxo Livre



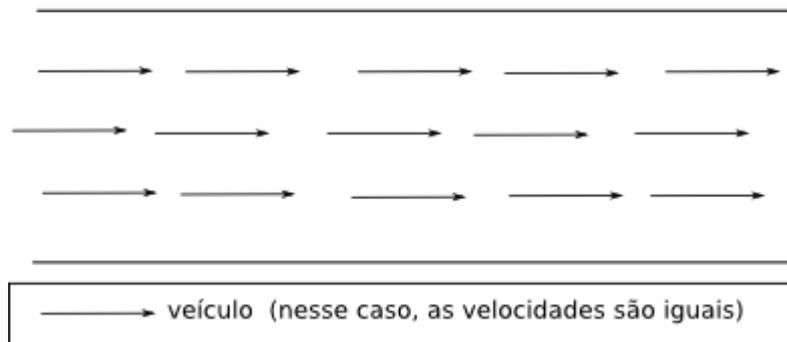
Fonte: <http://goo.gl/TqsQJA>

A Fase Fluxo Sincronizado e a Fase Congestionamento Ampliado Móvel são subdivisões do Tráfego Congestionado. Dentro da Fase Fluxo Sincronizado, que é assim chamada pelo fato que mesmo em faixas diferentes da mesma via os veículos se movimentam em sincronia, a velocidade média dos veículos cai significativamente. Porém, não há alteração na Taxa de Fluxo. Isso ocorre pelo fato da densidade de veículos no trecho observado aumentou de uma maneira que o produto da Velocidade Média com a Densidade de Veículos no trecho

ainda permanece a mesma.

Figura 11 – Representação do Fluxo Sincronizado

2 Fluxo Sincronizado

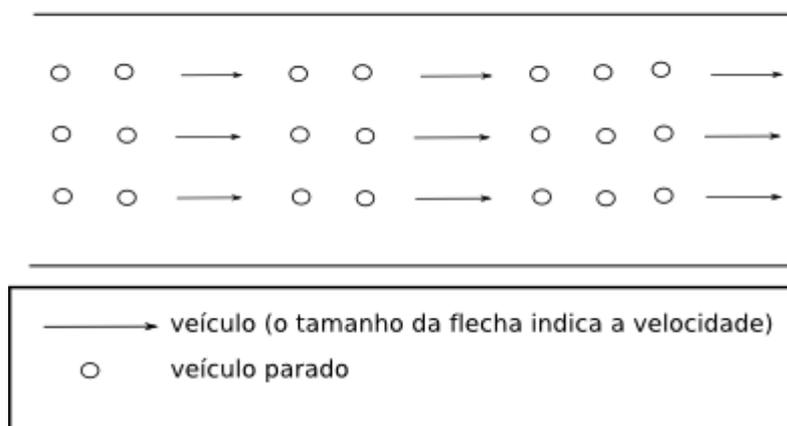


Fonte: <http://goo.gl/TqsQJA>

A Fase Congestionamento Ampliado Móvel, só pode ocorrer de maneira espontânea a partir do fluxo sincronizado. Durante essa fase do tráfego, a velocidade e a taxa de fluxo caem em relação ao Fluxo Sincronizado, tornando-se praticamente nulos. Com isso, os de veículos apresenta densidade extremamente alta. Isso implica numa movimentação e parada de todos os veículos ao mesmo tempo, caracterizando um grande bloco de veículos.

Figura 12 – Representação do Congestionamento Móvel

3 Congestionamento Móvel



Fonte: <http://goo.gl/TqsQJA>

Tabela 4 – Resumo dos Três Parâmetros de cada fase

	Velocidade	Fluxo	Densidade
Fluxo Livre	Alta	Alta	Baixa
Fluxo Sincronizado	Baixa	Próxima a do Fluxo Livre	Mediana
Congestionamento Ampliado Móvel	Ignorável	Ignorável	Mais Alta Possível

Fonte: ([PARK, 2012](#))

## 3.2 Método de controle utilizado

### 3.2.1 Lógica Fuzzy

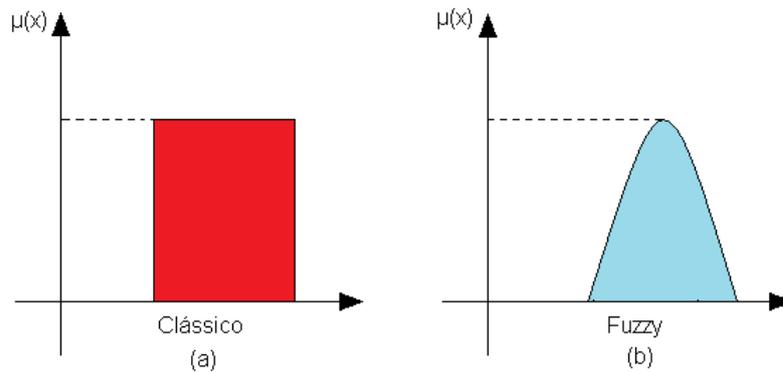
A Lógica Fuzzy é uma técnica que incorpora a forma humana de pensar em um sistema de controle. Um controlador Fuzzy típico pode comportar-se conforme o raciocínio dedutivo, isto é, o processo que as pessoas utilizam para inferir conclusões baseadas em informações que elas já conhecem([SIMÕES, 2000](#)).

A Lógica fuzzy, que também é chamada de Lógica Nebulosa, consegue realizar de maneira satisfatória o controle de sistemas que não trabalham que valores precisos, como é o caso do fluxo de veículos, que em conjunto com o tipo de veículo, torna o fluxo de difícil quantificação.

Em oposição à lógica clássica de dois valores, a lógica nebulosa é multi valores, ou seja, atribui a uma afirmação não o valor ‘verdadeiro’ ou o ‘falso’, e sim um grau de veracidade dentro de um intervalo numérico. Além disso, é possível um tratamento das implicações lógicas seguindo regras naturais de raciocínio, analisando condições e estipulando consequências. Seus fundamentos advém da teoria dos conjuntos nebulosos ( fuzzy sets ), que permite a manipulação de valores incertos, expressões verbais abstratas.([MEDEIROS; MAITELLI; FILHO, 2001](#))

Segundo [Takagi e Lee \(1993\)](#), a modelagem e o controle fuzzy são técnicas para se manusear informações qualitativas de uma maneira rigorosa. Tais técnicas consideram o modo como a falta de exatidão e a incerteza são descritas e, fazendo isso, tornam-se suficientemente poderosas para manipular de maneira conveniente o conhecimento. A sua utilização em sistemas de controle de processos em tempo real, em computadores ou microcontroladores, é das mais convenientes, dado que, geralmente, não envolvem nenhum problema computacional sério. A teoria de modelagem e controle fuzzy trata do relacionamento entre entradas e saídas, agregando vários parâmetros de processo e de controle. Isso permite a consideração de processos complexos, de modo que os sistemas de controle resultantes proporcionam um resultado mais acurado, além de um desempenho estável e robusto. A grande simplicidade de implementação de sistemas de controle fuzzy pode reduzir a complexidade de um projeto a um ponto em que problemas anteriormente intratáveis passam agora a ser solúveis.

Figura 13 – (a)Conjunto Clássico b)Conjunto Fuzzy



Fonte:Autor

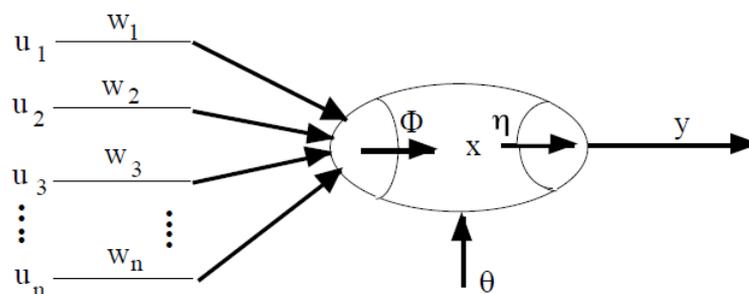
### 3.2.2 Redes Neurais

O trabalho em Redes Neurais Artificiais, usualmente denominadas “Redes Neurais”, tem sido motivado desde o começo pelo conhecimento de que o cérebro humano processa informações de uma forma inteiramente diferente do computador digital convencional. O cérebro é um computador altamente complexo, não linear e paralelo. (HAYKIN, 2001)

De acordo com Haykin (2001), o neurônio, no campo da engenharia, é uma unidade de processamento de informação, que é fundamental para o funcionamento de uma Rede Neural. Um neurônio é composto por três elementos básicos:

- Um conjunto de sinapses ou elos de conexão, cada uma caracterizada por um peso ou força própria.
- Um somador, para somar os sinais de entrada, ponderados pelas respectivas sinapses do neurônio; as operações descritas aqui constituem um combinador linear;
- Uma função de ativação, para restringir a amplitude de saída de um neurônio.

Figura 14 – Modelo Geral do Neurônio



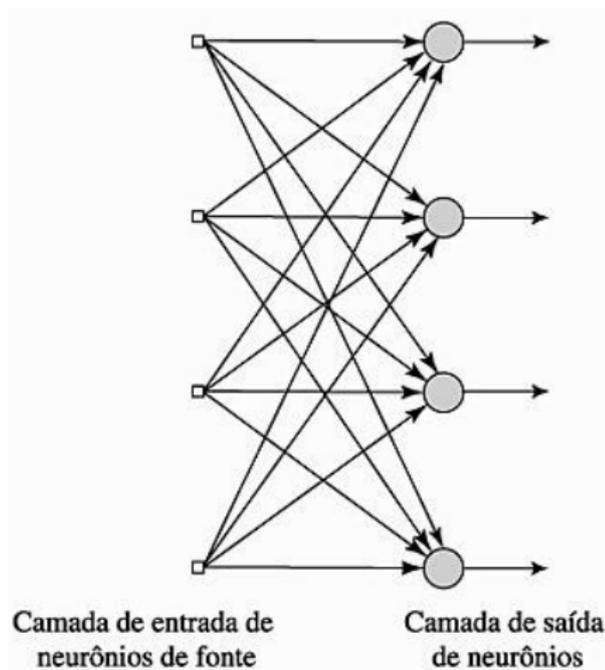
Fonte:(BARRETO, 2002)

Pode-se dizer que redes neurais artificiais consistem em um modo de abordar a solução de problemas de inteligência artificial. Neste caso, em lugar de tentar programar um

computador digital de modo a fazê-lo imitar um comportamento inteligente (saber jogar xadrez, compreender e manter um diálogo, traduzir línguas estrangeiras, resolver problemas de matemática tais como se encontram nos primeiros anos dos cursos de engenharia, etc.) procura-se construir um computador que tenha circuitos modelando os circuitos cerebrais e espera-se ver um comportamento inteligente emergindo, aprendendo novas tarefas, errando, fazendo generalizações e descobertas, e frequentemente ultrapassando seu professor. Da mesma forma, estes circuitos neurais artificiais poderão se auto organizar, quando apresentados a ambientes diversos, criando suas próprias representações internas e apresentar comportamentos imprevisíveis.(BARRETO, 2002)

. Segundo Braga (2007), as Redes Neurais, ou RNAs, são sistemas paralelos distribuídos, compostos de unidades de processamento simples, que calculam determinadas funções matemáticas, geralmente não lineares. Tais unidades são dispostas em uma ou mais camadas e interligadas por um grande número de conexões, geralmente unidimensionais.

Figura 15 – Modelo de Rede Neural

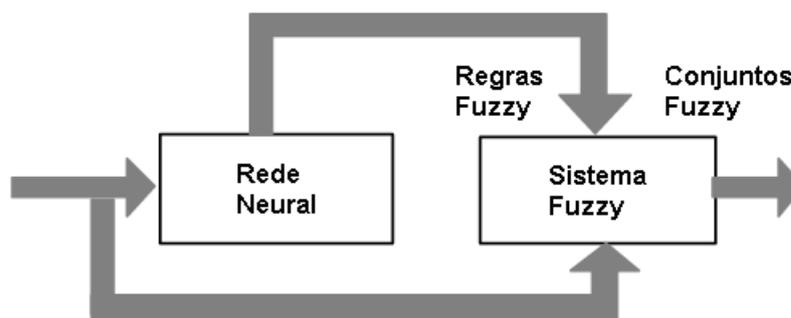


Fonte:(BARRETO, 2002)

### 3.2.3 Sistemas Neuro-Fuzzy

A Teoria Fuzzy pode também ser agregada aos sistemas de Redes Neurais, os sistemas Neuro-Fuzzy, que aumentam a capacidade de aprendizado mediante dados numéricos. (SIMÕES, 2000). Esse tipo de controle é de grande eficácia, devido a natureza das partes que o compõem. A lógica fuzzy consegue realizar de maneira satisfatória o controle de sistemas que não trabalham com valores precisos, enquanto a Rede Neural possui a capacidade de aprender ao longo do tempo quais as melhores decisões a serem tomadas, influenciando e modificando o conjunto de regras Fuzzy.

Figura 16 – Configuração de uma rede Neuro-Fuzzy



Fonte:(VIEIRA; DIAS; MOTA, 2004)

Segundo Jang e Sun (1996), um sistema Neuro-Fuzzy possui tipicamente as seguintes características

- conhecimento humano: na forma de regras se-então;
- modelos computacionais inspirados em modelos biológicos: redes neurais artificiais podem ser implementadas no reconhecimento de padrões;
- técnicas de otimização: pode-se, por exemplo, utilizar uma técnica híbrida que combina *backpropagation* com *Least Square Error* (LSE);
- aprendizado sem modelo: é possível construir um modelo a partir de uma amostra de dados;
- computação numérica no lugar da simbólica.

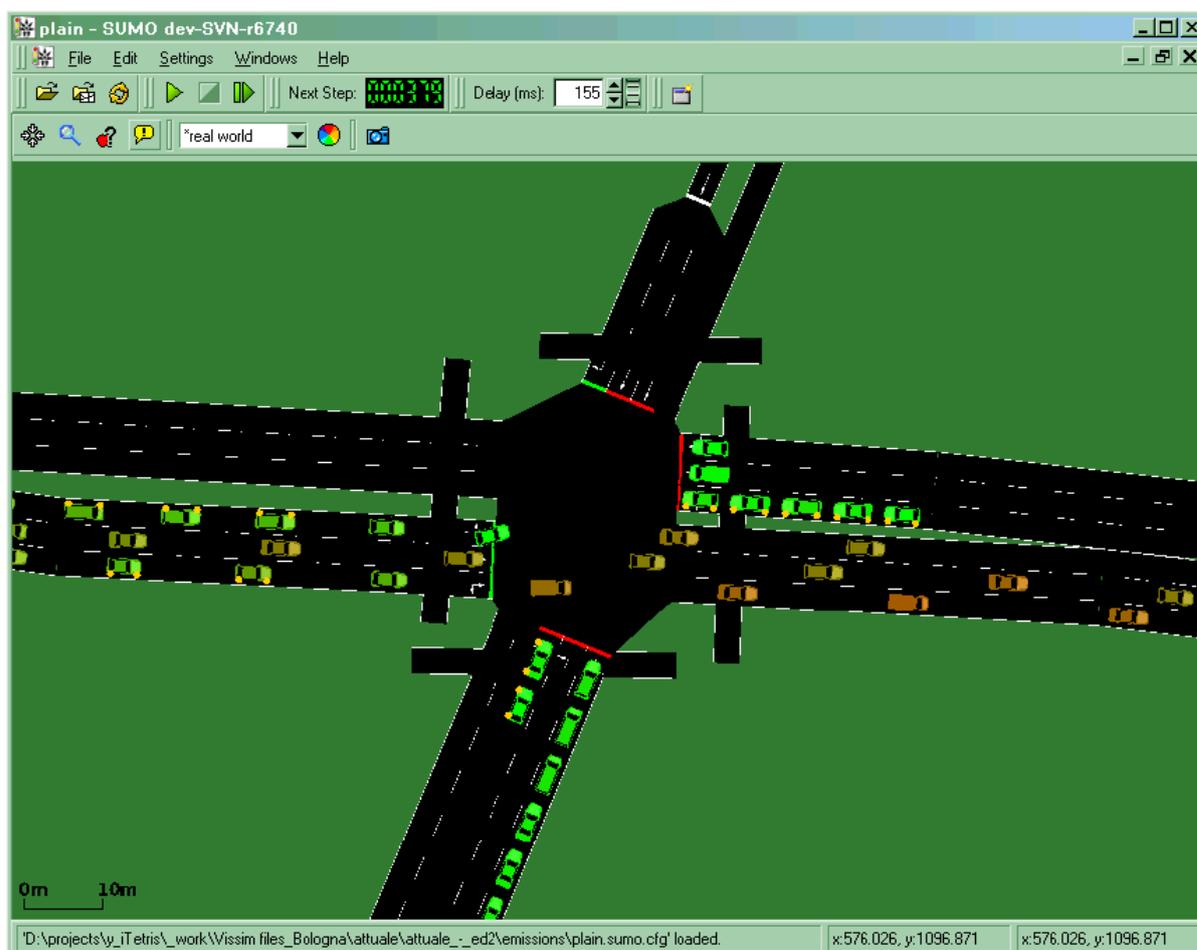
## 3.3 Aplicativos utilizados

### 3.3.1 SUMO

Segundo(KRAJZEWICZ et al., 2012) o SUMO(Simulation of Urban Mobility) é um pacote de simulação de tráfego de código aberto, composto pelo próprio aplicativo de simulação, bem como ferramentas de apoio inclusos, principalmente para a importação de rede de vias e modelagem de demanda. SUMO ajuda a investigar uma grande variedade de tópicos de pesquisa, principalmente no contexto da gestão do tráfego e de comunicações veiculares .

Ele é ideal para simulações macroscópicas de tráfego em grandes redes,e microscópicas, com comportamentos diferentes para cada condutor durante a simulação, já que uma das características que o diferenciam de outros simuladores de tráfego é o fato de que ele assume que os veículos não se comportam de maneira perfeita, gerando um comportamento mais fidedigno a simulação. Realiza simulações rápidas, por ser um software leve que consome pouca memória RAM.

Figura 17 – Modelo Geral do Neurônio



Fonte: (KRAJZEWICZ et al., 2012)

### 3.3.2 JOSM

Antes de falar sobre o JOSM (*Java OpenstreetMap Editor*), é necessário falar sobre o OpenStreetMap. O OpenStreetMap é um projeto iniciado em 2004, com o intuito de criar um banco de dados geospaciais globais livres, podendo ser utilizados e modificados por qualquer um que assim queira. Essa maneira de se trabalhar foi batizada como Mapeamento Colaborativo.

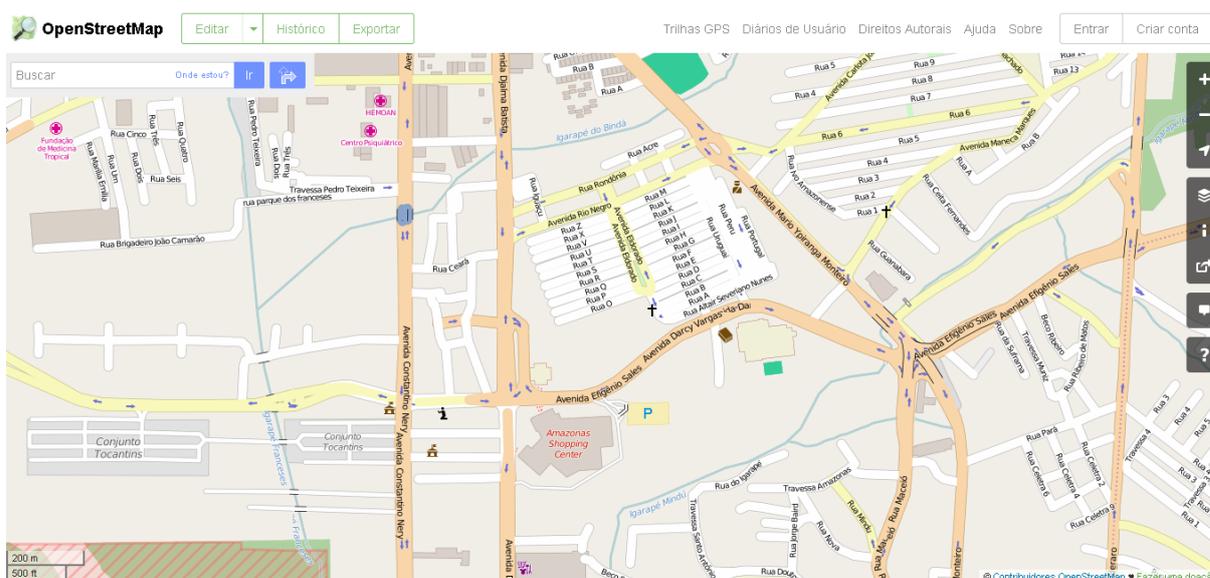
Mapeamento colaborativo, também chamado de mapeamento *crowdsourced*, oferece informação geográfica sem custos ao usuário. Com uma nova técnica para a elaboração de mapas, a partir de *feedback* da comunidade de usuários do projeto. A ideia é que um grupo de pessoas podem trabalhar juntas para coletar informações geográficas da região onde elas residem. Esta informação pode ser muito específica, como um mapa de todas as lojas de conserto de sapatos em uma área, ou mais genérico, como um mapa gratuito de todo o mundo.

Esse banco de dados é mantido por voluntários, que percorrem suas cidades com um aparelho de GPS (*Global Positioning System*) coletando dados de seus percursos,

além de fotos e anotações que possam complementar as informações do mapeamento. O OpenStreetMap já conta com 450.000 voluntários ao redor do mundo submetendo dados geoespaciais.

Logicamente seria impossível conseguir uma cobertura de regiões remotas ou cidades do interior. Para as regiões onde há poucos ou nenhum dados coletados, são utilizados dados do *Yahoo! Maps*, em uma parceria entre *OpenStreetMaps* e *Yahoo!*, porém apenas com informações mais básicas das vias.

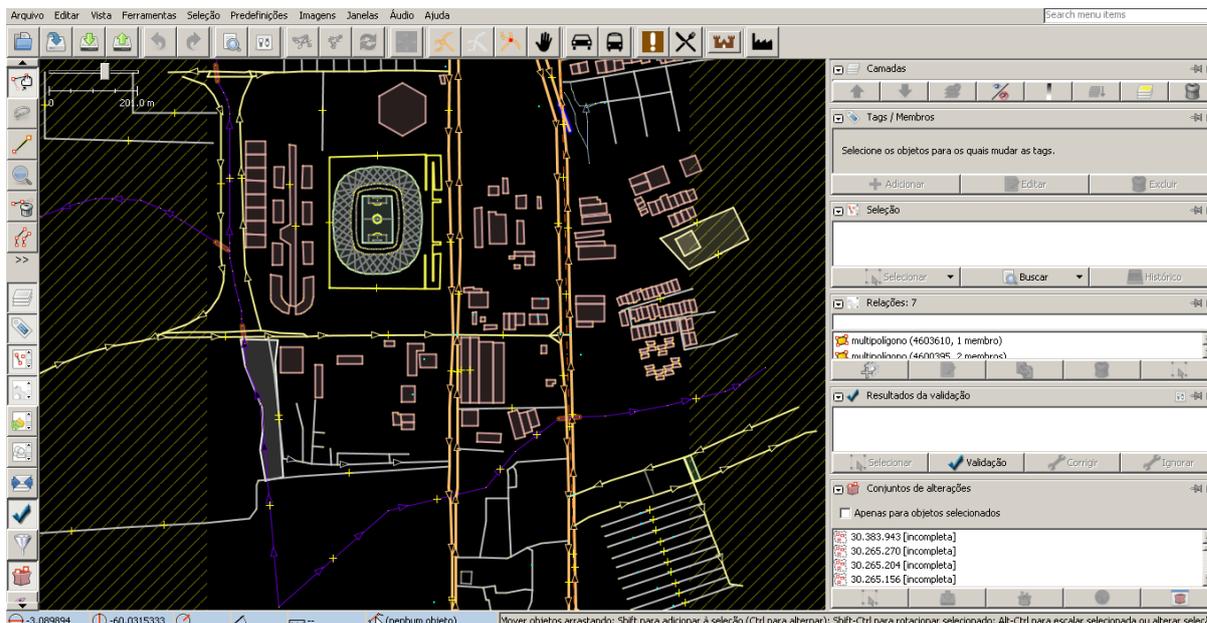
Figura 18 – OpenStreetMap



Fonte: <http://goo.gl/q0ILfH>

Todas as informações desse banco de dados podem ser exportados em formato .osm, para serem manipulados por aplicações externas. Uma dessas aplicações é o Java OpenStreetMap(JOSM). Segundo Bennett (2010), o Java OpenStreetMap Editor, quase universalmente conhecido por sua sigla, é uma aplicação de edição de *desktop* escrito em Java. Como tal, ele roda em Windows, Mac OS e Linux.. JOSM tem muitos recursos embutidos, como áudio e suporte de mapeamento foto, que ajudam a transformar o seu informações de pesquisa em dados do mapa. Ele também suporta *plugins* que adicionam funções extras, como recolhimento diretamente traços de um GPS em tempo real e ferramentas de desenho extra ou ligações a sites de terceiros. Conforme Haklay e Weber (2008), os contribuidores mais experientes do OpenStreetMap também utilizam o Java OpenStreetMap Editor. O aplicativo permite aos usuários importar, editar e dados OSM offline e permite *uploads* de grandes quantidades de dados de atualizações OSM por intermédio da interface de programação de aplicativo.

Figura 19 – Interface do JOSM



Fonte: Autor

### 3.3.3 MATLAB® E SIMULINK®

O MATLAB® é uma linguagem poderosa em termos de computação técnica. O Nome MATLAB® vem da elisão das palavras *MATrix LABORatory*. Isto se deve à base operacional do software, que são as matrizes. O MATLAB® é bastante versátil em cálculos matemáticos, modelagens e simulações, análises numéricas e processamentos, visualização e gráficos, desenvolvimento de algoritmos, etc.(GILAT, 2006)

O MATLAB® é um software bastante popular em computação técnica e científica; é usado no mundo inteiro por estudantes, engenheiros e cientistas em universidades, institutos de pesquisa e indústrias(GILAT, 2006).

Segundo Mathworks (2014), Simulink® é um ambiente de diagrama de blocos para a simulação de vários domínios e design baseadas em modelos. Ele dá suporte a o projeto em nível de sistema, simulação, geração automática de código, testes contínuos e verificação de sistemas embarcados. O Simulink® fornece um editor gráfico, bibliotecas de blocos personalizáveis e solucionadores para a modelagem e simulação de sistemas dinâmicos. É integrado com MATLAB®, permitindo que você incorpore algoritmos MATLAB® em modelos e exporte resultados de simulação para o MATLAB® para análise posterior.

## 4 DESENVOLVIMENTO

### 4.1 Comunicação entre SUMO e MATLAB®

Para viabilizar este trabalho, foi necessário realizar a comunicação entre o software utilizado para a simulação do trânsito (SUMO), e a plataforma na qual o controle seria realizado. No entanto, havia o empecilho de que os dois softwares não se comunicam de maneira direta.

O SUMO possui uma ferramenta que permite que o mesmo se comunique com aplicações externas. Essa ferramenta, chamada de TraCI (*Traffic Control Interface*), o TraCI utiliza-se de uma conexão TCP (*Transmission Control Protocol*) para acomodar simuladores de redes ao SUMO, numa relação de cliente-servidor, onde o SUMO é o servidor e a outra aplicação é o cliente, podendo assim o cliente intervir e controlar a simulação. Com isso, é possível realizar o controle do comportamento dos veículos durante uma simulação (WEGENER et al., 2008).

É possível separar os comandos e a resposta dos mesmos no TraCI em três grupos funcionais.

O Primeiro realiza ações que comandam os passos da simulação:

- Passo da simulação: periodicamente utilizado pelo *software* cliente para que a simulação avance uma unidade de tempo.
- *Status*: é mandada como resposta a cada comando requisitado pelo cliente.
- Mover até nó: utilizado para a coleta de informação do trajeto que o veículo está tomando.

O segundo grupo de comandos tem como função de modificar o comportamento da simulação, modificando o comportamento de veículos individualmente:

- Definir velocidade máxima: limitar velocidade do veículo ou retirar essa limitação.
- Parar no nó: faz com que um veículo especificado no comando pare de se movimentar por um período de tempo assim que o mesmo chegar a posição indicada.
- Mudar de faixa: faz com que um veículo definido pelo cliente mude para uma faixa específica da via e que o mesmo se movimente nessa faixa por um período de tempo.
- Mudar rota: tem como função forçar o simulador a mudar a rota de um veículo específico.
- Mudar destino: muda o destino do veículo na simulação.

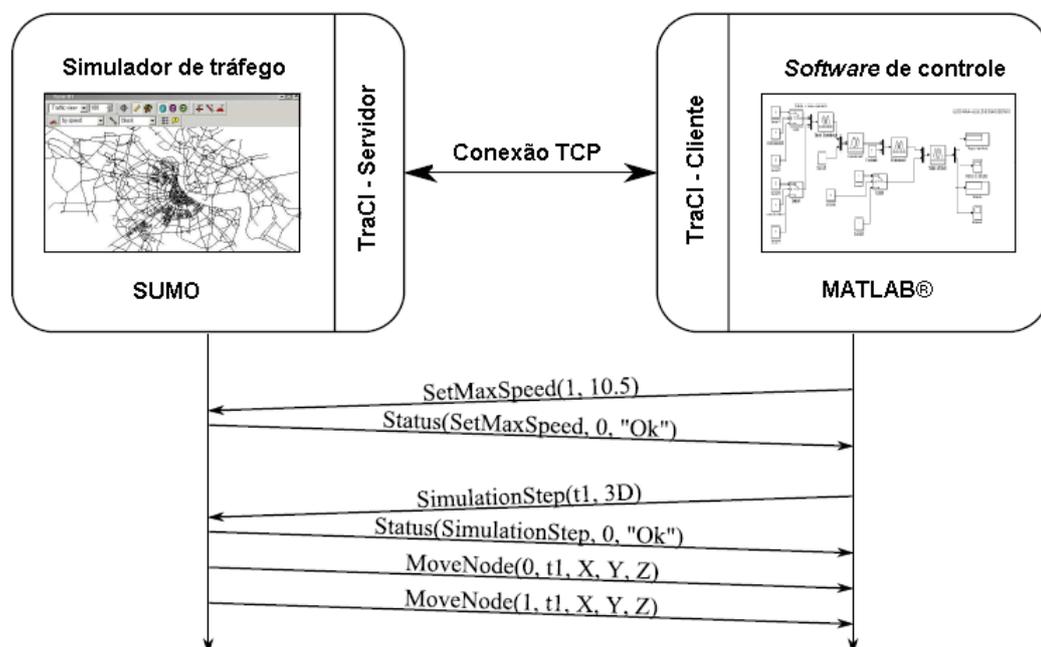
Os comandos do ambiente, que dão acesso ao cenário de simulação formam o terceiro grupo. O cenário de simulação é mantida principalmente pelo simulador de tráfego, visto que nele tem o mapa de estradas, semáforos e assim por diante. Dependendo da rede, é necessário um subconjunto desta informação dentro da simulação de rede também. Os seguintes comandos fazem parte desse grupo:

- Cenário: usado para coletar informações do ambiente da simulação.
- Conversão de unidades: converte as coordenadas cartesianas de posição em outra unidade.
- Distância percorrida: calcula o tempo de percurso de um ponto a outro.

Porém, o MATLAB® não está incluídos nos softwares suportados por essa aplicação. Levando em consideração essa limitação, foi necessário procurar por aplicações externas que pudessem suprir essa necessidade. Mediante pesquisa bibliográfica, a limitação foi sanada a partir da utilização do TraCI4MATLAB (TraCI for MATLAB). O Traci4MATLAB foi desenvolvido por um grupo de estudantes da Universidad Nacional de Medellín, a partir de um processo de engenharia reversa do TraCI.

Pode-se visualizar a relação entre os softwares na figura 20.

Figura 20 – Esquema do TraCI4MATLAB



Fonte: Autor

A partir dessa comunicação, é possível realizar a coleta de uma porção de dados da simulação, como quantidade de veículos dentro de uma via, tipos de veículos na via, etc, realizar comandos pelo MATLAB que controlam a simulação, como modificar o tempo de simulação, estados do semáforo, entre outras ações.

## 4.2 Malha viária utilizada

### 4.2.1 Escolha da área a ser utilizada no trabalho

Para a execução das simulações, foi necessário definir uma área da cidade. Para isso, foram considerados os seguintes aspectos:

- Relação entre os semáforos e sua demanda na área.
- Ocorrência de congestionamento em horários de pico.
- Importância da via no cenário viário da cidade.

Considerando esses aspectos, o trecho escolhido para ser objeto de estudo desse projeto foi:

- Cruzamento entre a Avenida Pedro Teixeira e a Avenida Djalma Batista.
- Cruzamento entre a Avenida Pedro Teixeira e a Avenida Constantino Nery.
- Cruzamento entre a Avenida Djalma Batista e Rua Rondônia.

A área em questão possui uma característica essencial para a implantação de um sistema inteligente de gerenciamento de trânsito: a maneira como o congestionamento em qualquer um dos três cruzamentos pode gerar congestionamento nos outros dois cruzamentos. O fato é que essa região recebe um intenso fluxo de veículos, devido a sua posição na cidade.

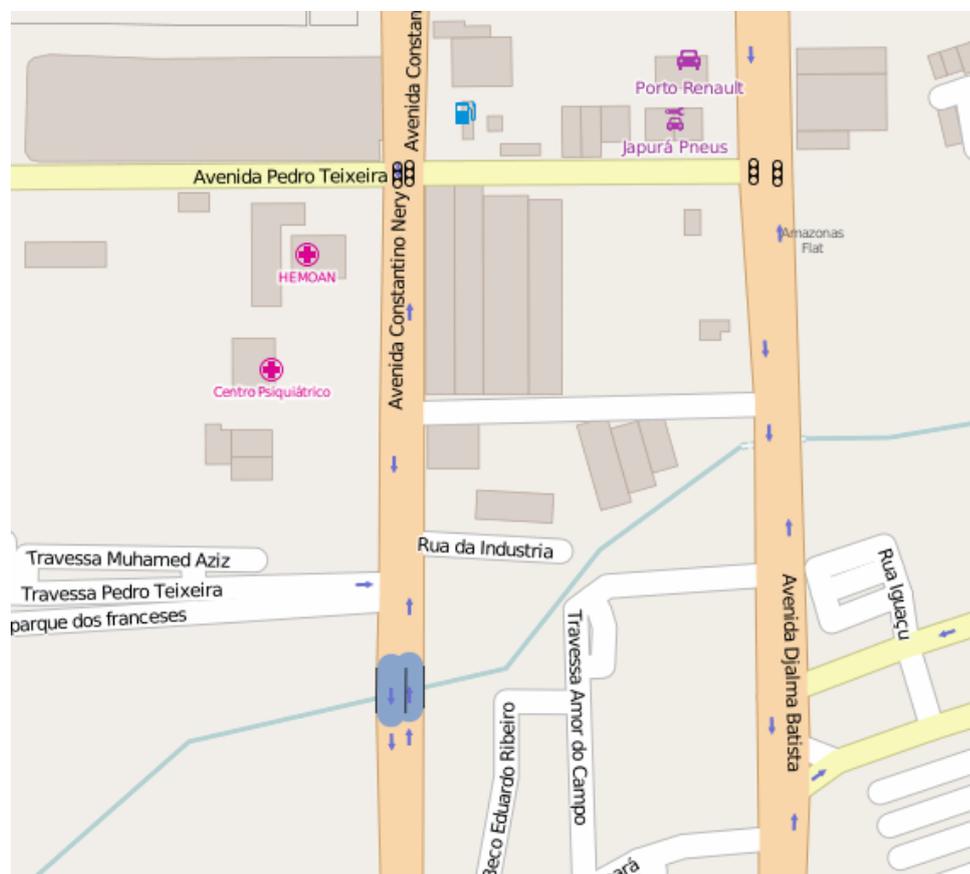
A Av. Djalma Batista e a Av. Constantino Nery ligam a região Norte da cidade ao centro comercial de Manaus, sendo que a região Norte da cidade é uma das mais populosas da cidade. Esse fluxo de veículos e pessoas se torna maior, considerando o fato de que um dos Shoppings Centers da cidade é acessado a partir da Av. Djalma Batista. Da mesma forma levou-se em consideração o fato de haver um fluxo grande de veículos originado do bairro Parque Dez de Novembro e pela Avenida Mário Ypiranga, por intermédio da rua Rondônia, que desafia no cruzamento da mesma com a Av. Djalma Batista.

Outro ponto levado em consideração é o fato de que esses cruzamentos serão um dos poucos pontos onde há a possibilidade de mudança de trajeto. O usuário utiliza as Av. Djalma Batista e Constantino Nery por dois motivos: ou seu destino está após o final das duas avenidas ou está localizada em alguma parte da sua extensão. Isso ocorre devido ao fato de, a partir do momento que o usuário adentra nessas avenidas, ele se encontra com pouquíssimas opções para mudança do seu trajeto, tendo que percorrer boa parte da extensão de ambas para dispor de uma opção de trajeto.

A Av. Pedro Teixeira exerce esse papel, sendo uma opção para que o usuário possa modificar seu trajeto. A avenida possui dois trechos: o primeiro, com quatro vias em apenas um sentido, liga o bairro Dom Pedro a Av. Constantino Nery, e o segundo trecho, que realiza a ligação entre as Av. Constantino Nery e Djalma Batista. Com isso há uma

grande parte de veículos que chegam nessas duas avenidas a partir da Av. Pedro Teixeira. Na figura 21 é possível visualizar a região utilizada no trabalho:

Figura 21 – Área de estudo do trabalho



Fonte: Autor

#### 4.2.2 Modificação, correção e conversão dos mapas para o formato SUMO

Após a escolha da área utilizada para a simulação, foi realizada a exportação do mapa na plataforma *OpenStreetMaps*, para a verificação, correção e melhorias da área no software JOSM, para que a mesma seja o mais fiel possível da realidade.



Após as devidas correções no mapa, foi necessária a conversão do arquivo para o formato de rede de vias do SUMO. O JOSM trabalha com arquivos de extensão “.osm”, que não são compatíveis com o SUMO, que utiliza o formato “.net.xml”.

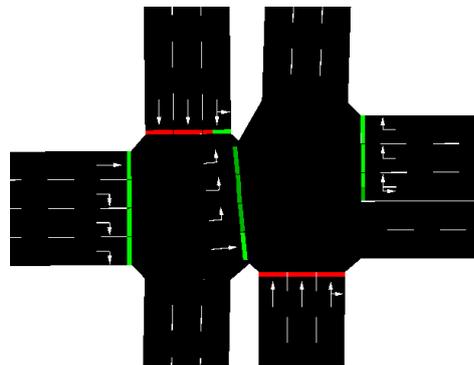
Essa conversão só pode ser realizada com uma ferramenta do SUMO chamada *netconvert*. Essa ferramenta é utilizada em linha de comando, sendo executada por intermédio do *prompt* de comando do *Windows*. Sua sintaxe pode variar de acordo com a necessidade do usuário. A partir dessa sintaxe pode-se criar inclusive redes aleatórias, dependendo da topologia escolhida, porém isso não convém a este trabalho. Para suprir as necessidade deste trabalho o *netconvert* foi utilizado com a seguinte sintaxe:

```
netconvert --osm-files arquivoosm.osm -o arquivonet.net.xml
--no-turnarounds --junctions.join --node-files arquivono.nod.xml
```

É necessário fazer algumas ressalvas em relação aos argumentos utilizados.

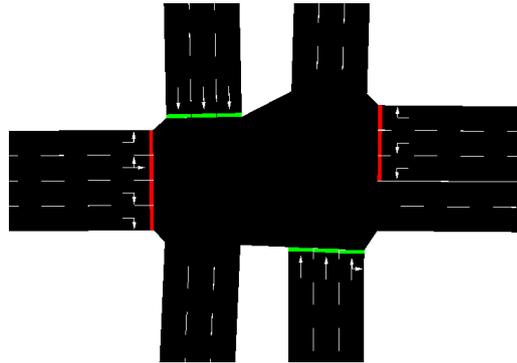
- Com o intuito de especificar que o mapa estava sendo convertido do formato de mapa do *OpenStreetMap*, fez-se necessária a utilização do argumento “--osm.files arquivoosm.osm”.
- Para que não fosse necessário criar restrições proibindo retorno em todas as áreas onde seria possível realizar retorno mas é proibido, foi utilizado o argumento “--no.turnarounds”. Esse argumento proíbe o retorno em todos os pontos da simulação, de maneira global.
- Com intenção de evitar cruzamentos com falhas como pode ser observado na figura 23, foi utilizado o argumento “--junctions.join”. Com isso, o *netconvert* une nós muito próximos, evitando dois semáforos no mesmo cruzamento, o que deixa o simulador com dificuldades de processamento dos estados dos semáforos. O cruzamento gerado com esse comando pode ser visualizado na figura 24.

Figura 23 – Cruzamento sem a união de nós próximos



Fonte: Autor

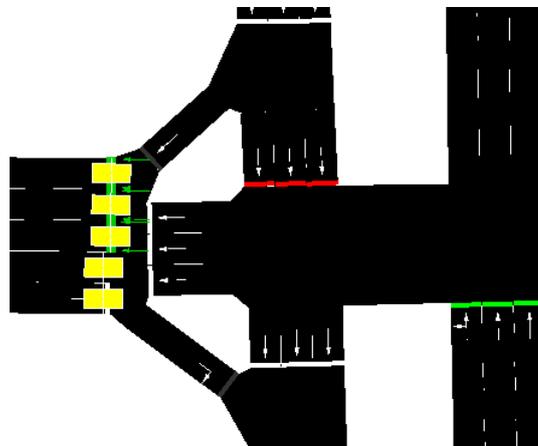
Figura 24 – Cruzamento com a união de nós próximos



Fonte: Autor

Infelizmente o software não possui recursos de adicionar direita livre ao modelo simulado. Para que a simulação não ficasse prejudicada com essa limitação, foi necessário adicionar manualmente pequenas ligações entre as Av. Djalma Batista e Pedro Teixeira, no intuito de emular a condição de direita livre ocorre no cruzamento entre elas. Apesar de aparentar uma conexão quebrada entre as vias, não houveram problemas com a simulação, pois o simulador interpreta que o veículo está apenas transitando de um nó para outro.

Figura 25 – Representação da direita livre no simulador



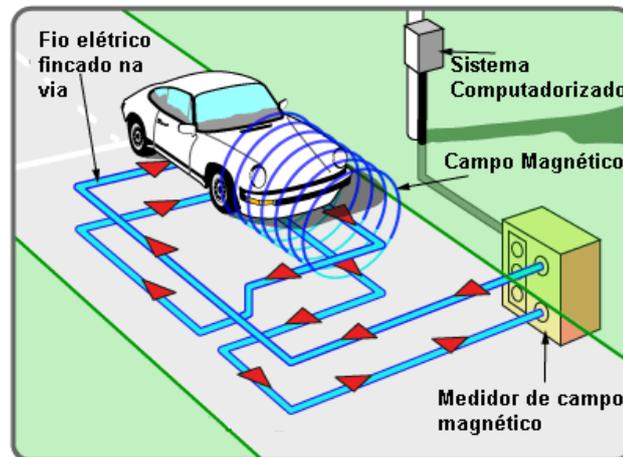
Fonte: Autor

Com a finalidade de monitorar o fluxo nas vias durante a simulação, foram adicionados laços de indução nas vias. Na vida real, laços de indução são utilizados em sistemas de monitoramento de trânsito, para quantificar um fluxo de veículos, podendo inclusive identificar o tipo de veículo no qual o laço detectou.

O laço de indução funciona da seguinte forma: uma bobina formada por fio é enrolada e enterrada na via a ser monitorada. Essa bobina é ligada a um circuito ressonante. Quando um veículo passa pelo detector, ele tira o sistema ressonante de sintonia, devido ao fato dos veículos automotores serem de metal. Essa anomalia na ressonância é que o sistema computadorizado precisa para identificar quando o veículo está passando pelo detector e o tipo do veículo, pois veículos de diferentes tipos causam respostas diferentes no sistema.

Por exemplo, um carro de passeio causa uma reação diferente de uma van, que por ser maior causa uma interferência maior.

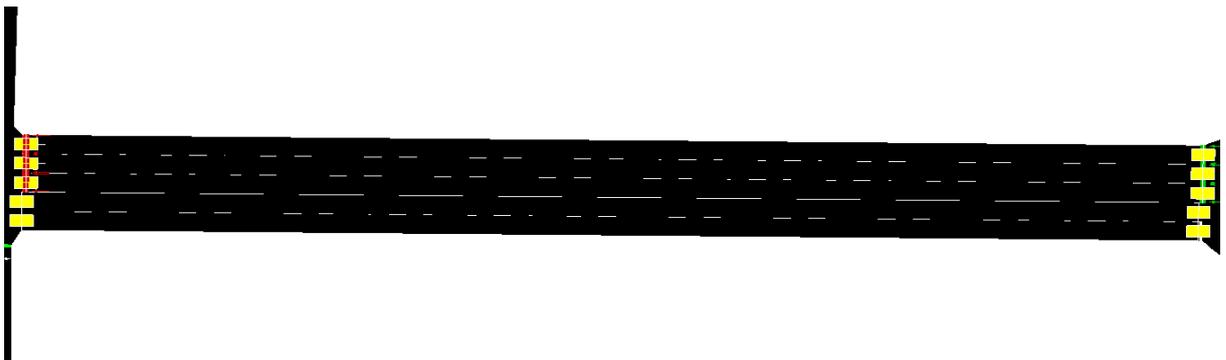
Figura 26 – Esquema de funcionamento de um laço de indução



Fonte: <http://goo.gl/bY8IiJ>

O SUMO possui o recurso de adicionar laços de indução nas vias da simulação. Os laços foram adicionados no início e no fim de cada via. Com isso, podemos ter a quantidade de veículos dentro da via. Uma variável é incrementada cada vez que um veículo passa pelo laço no início da via. Essa mesma variável é decrementada toda vez que um veículo passa pelo laço localizado na saída da via.

Figura 27 – Laços indutivos na simulação



Fonte: Autor

### 4.2.3 Dados referentes ao tráfego

Para a realização da simulação, e a mesma ser o mais próximo possível do real, é necessário que haja o conhecimento do fluxo de veículos em cada horário, discriminando esse fluxo pelo tipo de veículos que o compõe.

Quanto ao fluxo, ele é composto de diferentes tipos de veículos, que interagem entre si. Dentro de uma mesma via podemos ter, ao mesmo tempo, carros de passeio, motos, ônibus, caminhões, carretas e ônibus articulados. Temos que uma moto ou um ônibus

articulado não realizam a mesma influencia no tráfego que um carro de passeio, devido as suas dimensões e a maneira que ambos se comportam dentro de uma via. Então, para solucionar essa discrepância, é utilizada uma regra de equivalência, que converteria a quantidade de veículos variados em um numero que refletiria o mesmo trânsito, caso o mesmo fosse composto apenas por veículos de passeio. Essa unidade de conversão é chamada de Unidade de Carro de Passeio(UCP) . A equivalência utilizada é a seguinte:

- Uma moto tem metade da influencia de um carro de passeio.
- Um ônibus tem duas vezes mais influencia que um carro de passeio
- Um ônibus articulado tem quatro vezes a influencia de um carro de passeio
- Um caminhão tem duas vezes a influencia de um carro de passeio.
- Uma carreta tem quatro vezes a influencia de um carro de passeio.

Tabela 5 – Valor de Equivalência em carros de passeio

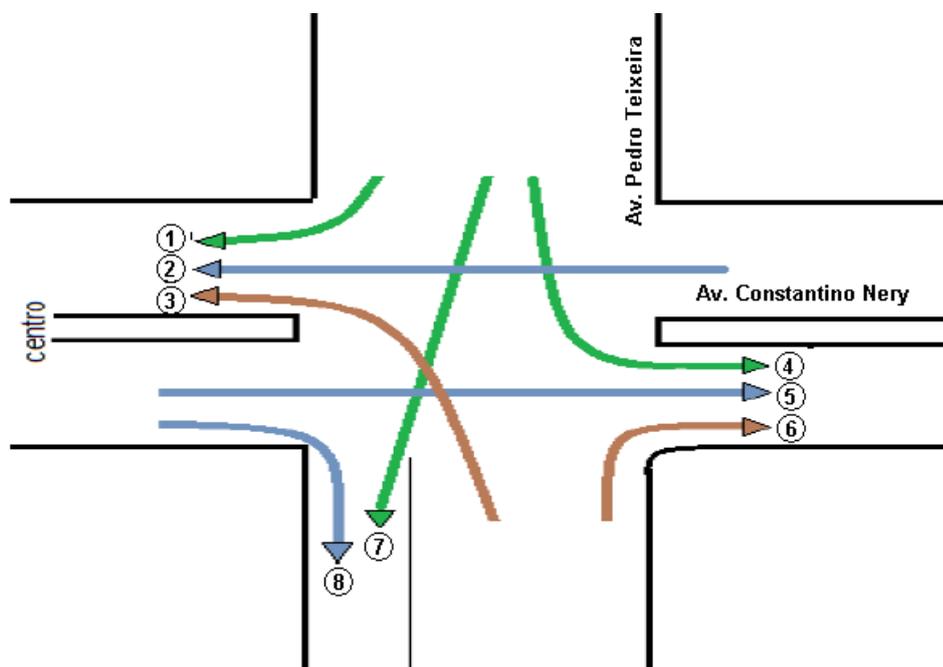
Tipo de Veículo	Carro de passeio	Moto	Ônibus comum	Ônibus articulado	Caminhão	Carreta
Fator de Equivalência	1	0,5	2	4	2	4

Fonte: Autor

Os dados utilizados neste trabalho foi, em sua maioria, cedidos pela Divisão de Gestão da Informação do Departamento de Estatística e Educação de Trânsito do MANAUSTRANS (Instituto Municipal de Engenharia e Fiscalização do Trânsito). Os dados nos quais o MANAUSTRANS não possuíam foram complementados com uma contagem *in loco*, nos mesmos horários que foram realizadas as coletas de dados dos agentes de Trânsito da MANAUSTRANS. Os dados estão separados por cruzamento, e foram coletados no horário de pico da tarde, entre as 17:00 e 19:00 horas. Os mesmos estão quantificados em taxa de fluxo, ou seja, quantidade de veículos que transitam na via por hora.

O primeiro cruzamento a ser analisado e quantificado foi o Cruzamento entre as Av. Pedro Teixeira e Av. Constantino Nery. Todos os dados acerca desse cruzamento foram cedidos pela MANAUSTRANS, não tendo necessidade de realizar medições em na via. Os dados utilizados para esse cruzamento podem ser visualizados abaixo:

Figura 28 – Movimentações permitidas no cruzamento entre Av. Pedro Teixeira e Constantino Nery



Fonte: MANAUSTRANS

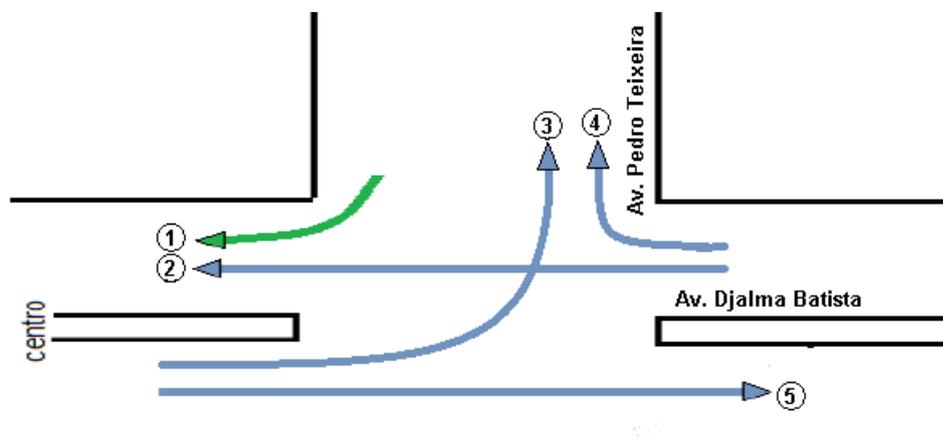
Tabela 6 – Fluxo na hora de pico do horário da tarde por hora nas Av. Pedro Teixeira e Constantino Nery

Movimento	Carro de passeio	Moto	Ônibus comum	Ônibus articulado	Caminhão	Carreta	Equivalência
1	355	42	16	4	0	1	428
2	899	207	79	22	14	0	1277
3	143	28	10	0	0	0	177
4	848	305	32	0	23	3	1123
5	1795	504	88	22	19	1	2353
6	909	146	98	21	18	3	1310
7	286	37	4	0	0	0	313
8	14	5	0	0	0	0	17

Fonte: Autor

Para o cruzamento entre as Av. Pedro Teixeira e Av. Djalma Batista, foi necessário realizar uma coleta de dados no local do cruzamento, pois parte dos dados referentes ao fluxo de veículos não foram incluídos no banco de dados do MANAUSTRANS. A quantidade de carros que realizam os movimentos 2 e 5 foram obtidos a partir da contagem dos carros que realizam esses movimentos no horário de 17:00 às 18:00. Os dados obtidos desse cruzamento são:

Figura 29 – Movimentações permitidas no cruzamento entre Av. Pedro Teixeira e Djalma Batista



Fonte: MANAUSTRANS

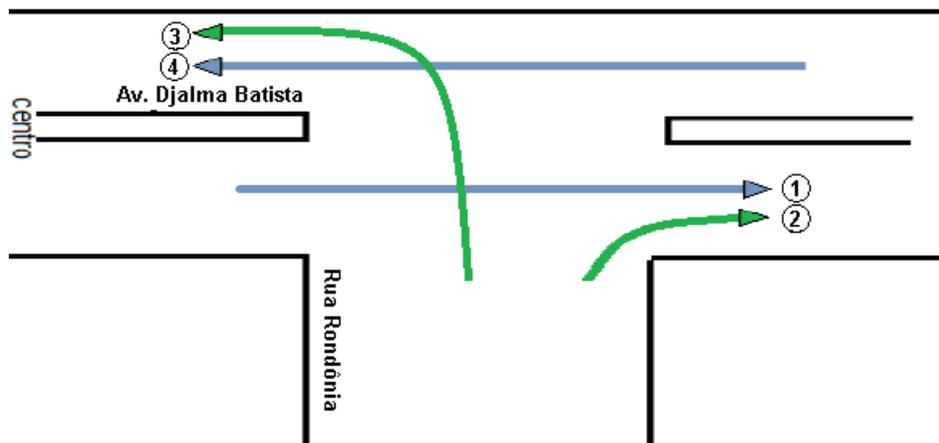
Tabela 7 – Fluxo na hora de pico do horário da tarde por hora nas Av. Pedro Teixeira e Djalma Batista

Movimento	Carro de passeio	Moto	Ônibus comum	Ônibus articulado	Caminhão	Carreta	Equivalência
1	393	58	1	0	1	0	426
2	899	207	79	22	14	0	1990
3	227	108	20	3	0	0	333
4	848	305	32	0	23	3	512
5	3006	504	198	35	19	1	3836

Fonte: Autor

Para o cruzamento entre a Av. Djalma Batista e a Rua Rondônia temos uma situação semelhante a 29, onde apenas parte dos dados desse cruzamento não foram coletados pelo MANAUSTRANS. No sentido de suprir essa ausência de dados, também foi realizada uma coleta de dados no local, durante uma hora, para ter uma estimativa do fluxo no cruzamento. Com isso, temos:

Figura 30 – Movimentações permitidas no cruzamento entre a Av. Djalma Batista e Rua Rondônia



Fonte: MANAUSTRANS

Tabela 8 – Fluxo na hora de pico do horário da tarde por hora nas Av. Djalma Batista e Rua Rondônia

Movimento	Carro de passeio	Moto	Ônibus comum	Ônibus articulado	Caminhão	Carreta	Equivalência
1	355	42	16	4	0	1	428
2	899	207	79	22	14	0	1277
3	143	28	10	0	0	0	177
4	1292	265	80	22	15	0	2416

Fonte: Autor

## 4.3 Controle do sistema

### 4.3.1 Padronização do Fluxo de Veículos

Devido a natureza dos sistemas de trânsito, seu comportamento dinâmico e sua difícil quantificação, chegou-se a conclusão que o melhor método para o controle desse sistema é utilizando a Teoria de Controle *Fuzzy*.

O primeiro passo para a realização do controle do sistema é lidar com os diferentes tipos de veículos que compõem o fluxo de veículos. Para lidar com isso, foi projetado um controlador *fuzzy* baseado na regra de equivalência da 5. Para estudos de capacidade, tona-se conveniente representar cada tipo de veículo em unidades de carro de passeio, ou seja, número equivalente de carros de passeio que exerce os mesmos efeitos na capacidade da rodovia que o veículo referido.

A regra de equivalência esta baseada no tamanho do veículo e na maneira na qual o mesmo se movimenta na via. Considerando isso, não se pode considerar valores absolutos para a equivalência, tendo em vista que há uma variação dentro dos conjuntos de veículos

na 5. Podemos tomar como exemplo o próprio carro de passeio, utilizado como unidade base da equivalência. Dentro do mercado de veículos, há centenas de opções de carros de passeio, com diferentes dimensões e estilos. Em alguns casos o mesmo modelo de carro pode possuir variação no tamanho, quando há a opção de modelo com chassi *hatch* ou chassi *sedan*.

Quantificar os veículos de maneira separada, para assim realizar o controle do tráfego tornaria o processo de controle mais difícil, sendo necessária uma estrutura de controle para cada veículo, exigindo maior poder de processamento e tornando a simulação muito mais lenta. Tendo isso em vista, o controlador *fuzzy* de equivalência foi projetado para considerar esse tipo de variação, porém tentando manter-se fidedigno ao cálculo padrão da equivalência. Para isso, o mesmo foi projetado com as seguintes entradas e saídas:

a) Variáveis de Entrada

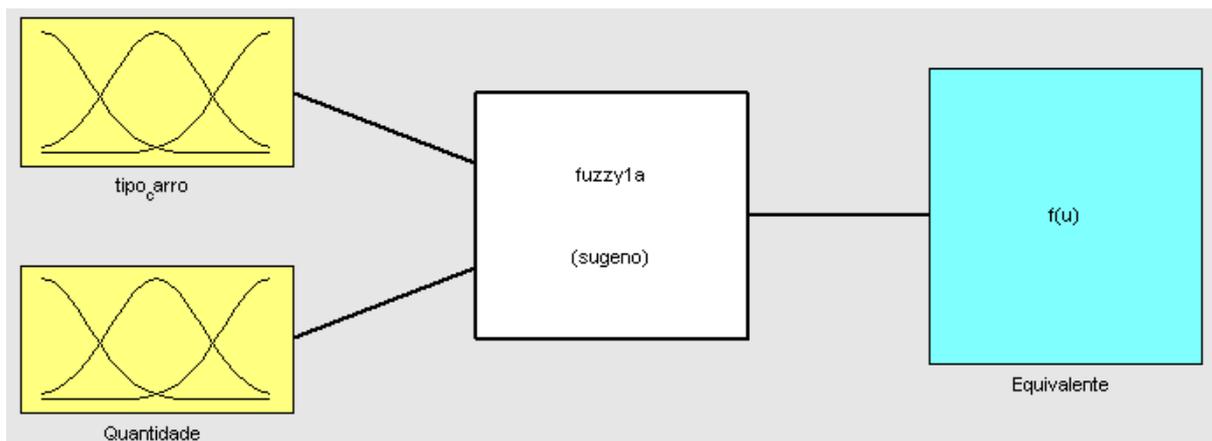
- Tipo de carro: considera o tamanho do veículo para identificar qual o tipo do mesmo;
- Quantidade: número de veículos dentro da via onde está sendo realizada a medição;

b) Variáveis de Saída:

- Equivalência do fluxo: valor de fluxo de veículos na via caso o fluxo fosse composto apenas de veículos de passeio;

Abaixo podemos observar o modelo do sistema *Fuzzy* que realiza o cálculo de equivalência de veículos:

Figura 31 – Sistema *Fuzzy* para cálculo de equivalência de tráfego



Fonte: Autor

A variável Tipo de carro determina qual é o tipo do veículo, dependendo do tamanho dos mesmos. Para determinar quais valores definiam cada tipo de veículo, foram utilizadas como base os valores de equivalência da tabela x.

Como método de inferência, foi utilizado o método de Sugeno. O método de Sugeno se diferencia do método de Mandani pela maneira na qual ele lida com a saída Enquanto o

método de Mandani de inferência utiliza-se de qualidades nas suas saídas, assim como nas suas entradas, o método de inferência de Sugeno gera saídas que obedecem a equação:

$$z = ax + bx + c \quad (4.1)$$

Onde:

$z$  =Saída do bloco Sugeno;

$a$  =Entrada do Sistema;

$b$  =Entrada do Sistema;

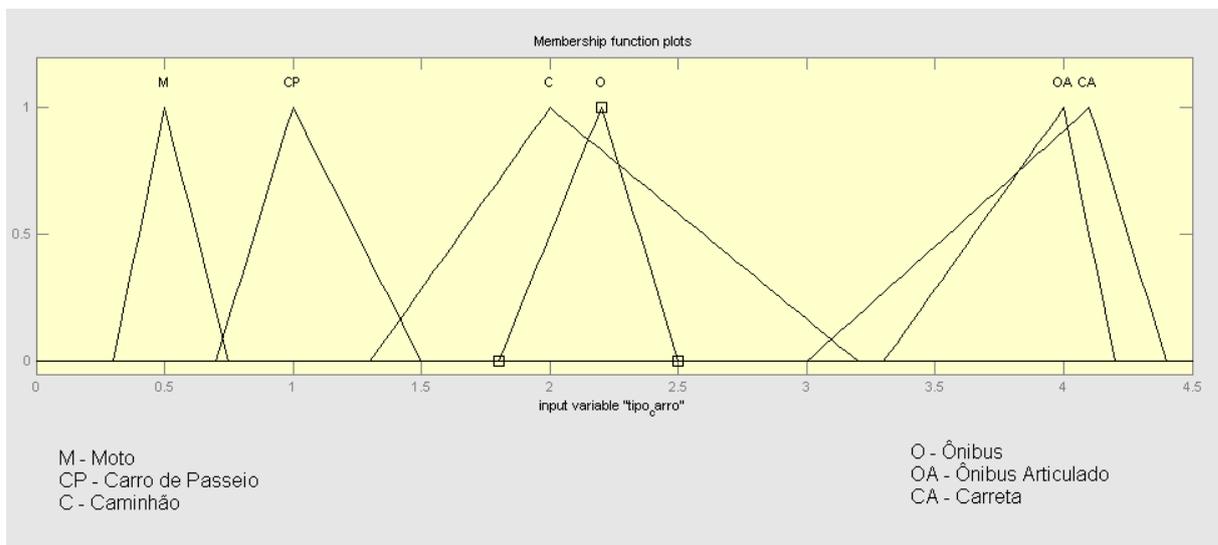
$c$  =Constante;

O método de inferência Sugeno possui outras vantagens em relação ao método Mandani, nos quais o tornam ideal para o controle *fuzzy* em questão neste trabalho:

- Computacionalmente mais eficiente.
- Funciona melhor para técnicas de otimização.
- Pode trabalhar de maneira inteligente, modificando as funções de pertinência, para que o controlador *fuzzy* modele melhor a data.

Após a definição do método de inferência, foi realizado a representação da variável tipo de carro em conjuntos *fuzzy*:

Figura 32 – Representação dos conjuntos *fuzzy* da variável Tipo de Carro



Fonte: Autor

Tabela 9 – Conjuntos *Fuzzy* definidos para a variável do tipo de carro

Conjunto <i>Fuzzy</i>	Carro de passeio	Moto	Ônibus comum	Ônibus articulado	Caminhão	Carreta
Limite dos Conjuntos <i>Fuzzy</i>	[0.7 1 1.5]	[0.3 0.5 0.75]	[1.8 2.2 2.5]	[3.3 4 4.2]	[1.3 2 3.2]	[3 4.1 4.4]
Forma da função de pertinência	Triangular	Triangular	Triangular	Triangular	Triangular	Triangular

Fonte: Autor

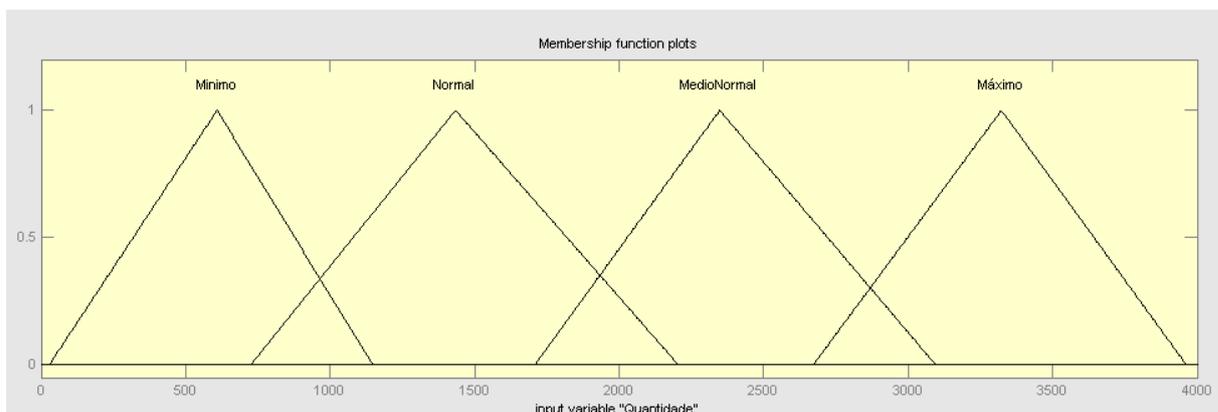
Os valores dos intervalos dos veículos foram definidos de acordo com a realidade. Por exemplo, a maioria das motos possuem dimensões semelhantes. No entanto, motos do tipo *scooter* possuem dimensões menores do que grande parte das outras motos. Isso se aplica aos outros veículos envolvidos no tráfego. Os carros de passeio possuem as mais variadas dimensões, com variação de modelos de duas e quatro portas, hatch ou sedan, *pick-ups* com cabine estendida ou dupla, por exemplo.

Para os caminhões temos que suas dimensões dependem do propósito do tipo de cargas que o mesmo transporta. Devido a isso, o intervalo de valores para o conjunto caminhão é maior em relação aos outros tipos de veículos.

. Em relação ao conjunto Ônibus comum, pode-se observar uma variação pequena, pois não há tanta diferença no tamanho entre os modelos diferentes de ônibus.

Esse fato não é observado quando considera-se o conjunto Ônibus articulado, pois leva-se em conta que o tamanho dos Ônibus articulados varia com a quantidade de articulações do mesmo, e em Manaus podem ser observados ônibus com uma ou duas articulações.

Em seguida a representação da variável tipo de carro, foi necessário definir de que maneira representar a quantidade de veículos na via, com o intuito de assim ser possível definir o fluxo equivalente de veículos. Para isso, a quantidade de fluxo de veículos foi definida a partir de intervalos que representam o fluxo, como é possível observar abaixo:

Figura 33 – Representação dos conjuntos *fuzzy* da variável Quantidade de veículos

Fonte: Autor

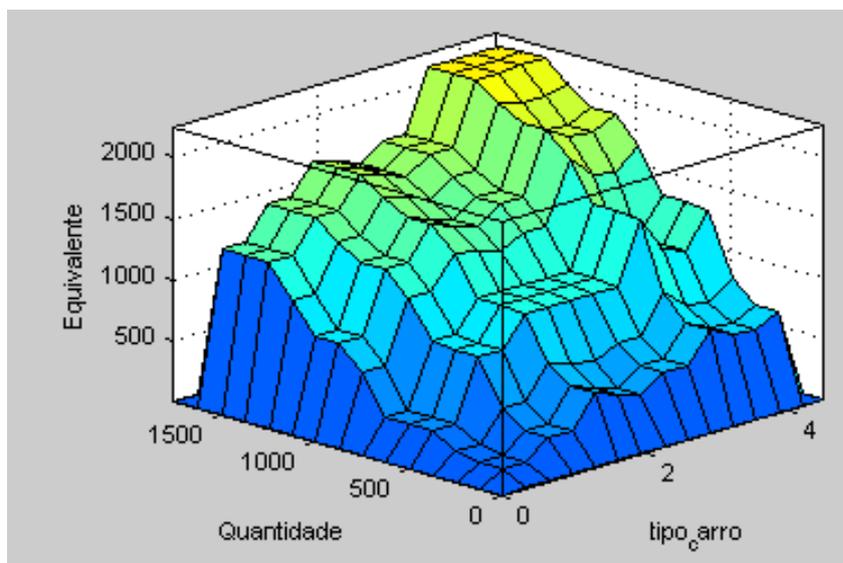
Tabela 10 – Conjuntos *Fuzzy* definidos para a variável de quantidade de carros

Conjunto <i>Fuzzy</i>	Carro de passeio	Moto	Ônibus comum	Ônibus articulado	Caminhão	Carreta
Limite dos Conjuntos <i>Fuzzy</i>	355	42	16	4	0	1
Forma da função de pertinência	Triangular	Triangular	Triangular	Triangular	Triangular	Triangular

Fonte: Autor

Com as variáveis e seus respectivos intervalos definidos, foi realizada a criação do conjunto de regras que definirão o resultado do controle, tal como as regras que irão reger o sistema. Para controlador que realiza o cálculo de equivalência, foram criadas 24 regras, que podem ter a sua resposta representada pela superfície da figura 34.

Figura 34 – Superfície do Sistema de Cálculo de Equivalência

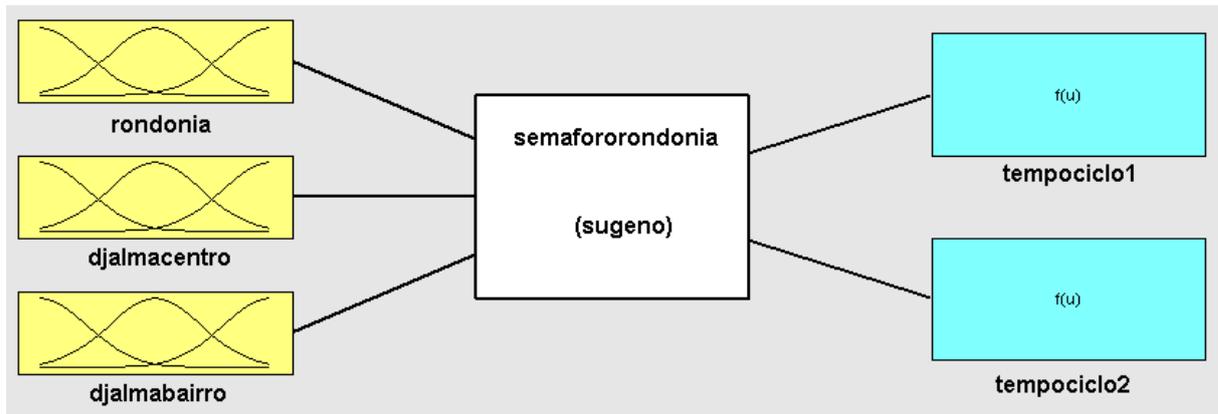


Fonte: Autor

### 4.3.2 Projeto do Controle de Tempo dos semáforos

Com a lógica *fuzzy* de padronização do fluxo concluída, foi resolvido um dos problemas do trabalho, que era lidar com dados de diferentes naturezas. A partir do momento que esse empecilho foi resolvido, foi possível realizar as simulações sem a inclusão do controlador, podendo assim verificar a maneira na qual o sistema se comporta com tempos fixos de semáforo.

A partir da simulação com tempo fixo, foi possível verificar a capacidade de escoamento das vias, baseado nos dados de fluxo fornecidos. Fundamentado nisso, foi projetado um controle *fuzzy* para cada uma das três interseções semaforicas. O primeiro dos três controladores pode ser visualizado na figura 35, que corresponde ao semáforo da interseção entre a rua Rondônia e a Av. Djalma Batista.

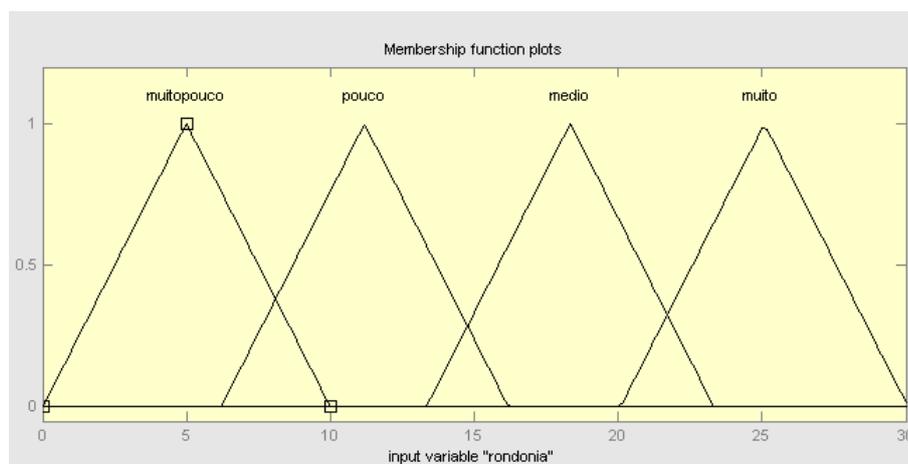
Figura 35 – Controlador *Fuzzy* do cruzamento entre as Av. Djalma Batista e Rua Rondônia

Fonte: Autor

Para esse controlador, haverá duas saídas, que são os tempos de verde dos ciclos dos semáforos. Esses ciclos podem ser definidos da seguinte forma:

- Ciclo 1: é o ciclo em que o semáforo da rua Rondônia permanece em estado verde e o semáforo da Av. Djalma Batista permanece em vermelho.
- Ciclo 2: é o ciclo contrário ao ciclo 1, onde o semáforo da rua Rondônia permanece em estado vermelho e o semáforo da Av. Djalma Batista permanece em estado verde.

Para esse controlador, foram utilizadas três entradas: a quantidade de veículos na interseção da rua Rondônia, a quantidade de veículos na Av. Djalma Batista no sentido centro e a quantidade de veículos na Av. Djalma Batista no sentido bairro.

Figura 36 – Conjuntos *Fuzzy* definidos para a variável de quantidade de veículos na rua Rondônia

Fonte: Autor

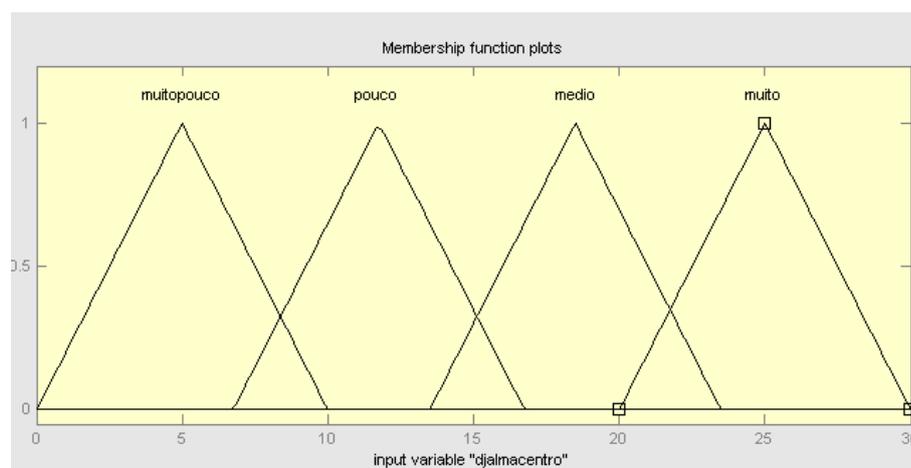
Tabela 11 – Conjuntos *Fuzzy* definidos para a variável de quantidade de carros na rua Rondônia

Conjunto <i>Fuzzy</i>	pouco	medio	mediomuito	muito
Limite dos Conjuntos <i>Fuzzy</i>	[0 5 10]	[6.19 11.19 16.19]	[13.33 18.33 23.33]	[20 25 30]
Forma da função de pertinência	Triangular	Triangular	Triangular	Triangular

Fonte: Autor

Os intervalos dos limites de conjuntos *fuzzy* para a variável de quantidade de veículos na rua Rondônia foram definidos a partir da análise da simulação de tempo fixo, onde o máximo de veículos na via não ultrapassou 28 unidades. Ainda sim, foi definido como o valor máximo do conjunto “muito” foi definido com o valor de 30. Essa decisão foi tomada tendo em vista a maneira na qual o sistema *fuzzy* interpreta suas entrada, pois caso a variável ultrapassasse em algum momento da simulação o valor máximo, poderia ocorrer do controlador interpretar a informação como nula.

Para a variável de quantidade de carros na Av. Djalma Batista no sentido centro é utilizada abordagem semelhante, no que diz respeito aos intervalos dos conjuntos *fuzzy*, havendo apenas uma mudança em seus respectivos limites devido ao comportamento do fluxo ao longo do tempo ser diferente ao da rua Rondônia. Comportamento semelhante pode ser encontrado para a quantidade de carros na Av. Djalma Batista no sentido bairro, como é possível identificar nas figuras 38 e 37 e nas tabelas 13 e 12.

Figura 37 – Conjuntos *Fuzzy* definidos para a variável de quantidade de veículos na Av. Djalma Batista no sentido centro

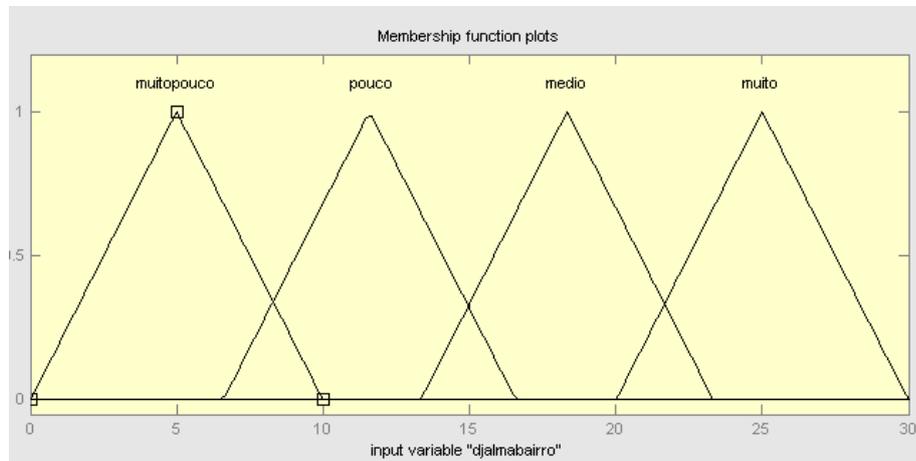
Fonte: Autor

Tabela 12 – Conjuntos *Fuzzy* definidos para a variável de quantidade de carros na Av. Djalma Batista no sentido centro.

Conjunto <i>Fuzzy</i>	pouco	medio	mediomuito	muito
Limite dos Conjuntos <i>Fuzzy</i>	[0 5 10]	[6.39 11.43 16.27]	[13.33 18.99 24.07]	[20 25 30]
Forma da função de pertinência	Triangular	Triangular	Triangular	Triangular

Fonte: Autor

Figura 38 – Conjuntos *Fuzzy* definidos para a variável de quantidade de veículos na Av. Djalma Batista no sentido bairro



Fonte: Autor

Tabela 13 – Conjuntos *Fuzzy* definidos para a variável de quantidade de carros na Av. Djalma Batista no sentido bairro.

Conjunto <i>Fuzzy</i>	pouco	medio	mediomuito	muito
Limite dos Conjuntos <i>Fuzzy</i>	[0 5 10]	[6.5 11.6 16.6]	[13.33 18.33 23.33]	[20 25 30]
Forma da função de pertinência	Triangular	Triangular	Triangular	Triangular

Fonte: Autor

Com as variáveis de entrada definidas, foi necessário definir as saídas para as respectivas entradas, além das regras que iriam reger o controlador dessa interseção. O controlador foi projetado levando-se em conta que as fases de vermelho de uma das ruas da interseção devem possuir o mesmo tempo da fase de verde da rua adjacente a interseção. Os possíveis valores que as saídas podem assumir podem ser visualizados na tabela 14.

Tabela 14 – Valores da saída do controlador.

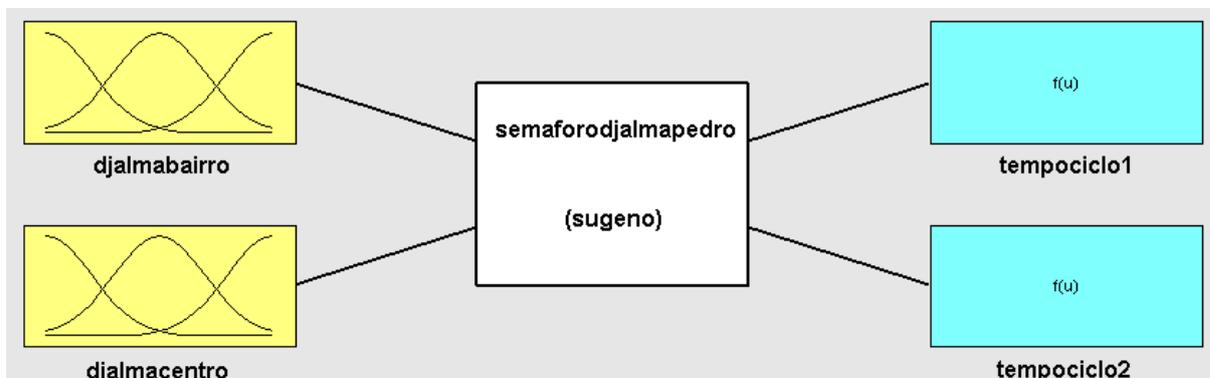
Saída	Tempo de verde do ciclo 1	Tempo de verde do ciclo 2
Intervalo de valores de tempo possíveis	10~45	10~45

Fonte: Autor

As regras desse controlador podem ser visualizadas no Apêndice A.

O segundo controlador foi projetado para trabalhar na interseção entre as Av. Pedro Teixeira e Av. Djalma Batista. Essa interseção possui uma particularidade em relação aos demais cruzamentos, devido ao fato de haverem duas direitas livres, o que diminuem a quantidade de movimentos controlados pelo semáforo. Isso torna o seu controle mais simples e diminui a necessidade de tempos de semáforo elevados.

Feita essa consideração, realizou-se o projeto do controlador com duas entradas: A quantidade de veículos na Av. Djalma Batista no sentido centro antes da interseção com a Av. Pedro Teixeira e quantidade de veículos na Av. Djalma Batista no sentido bairro antes da interseção com a Av. Pedro Teixeira. A partir disso foi projetado

Figura 39 – Controlador *Fuzzy* do cruzamento entre as Av. Djalma Batista e Rua Rondônia

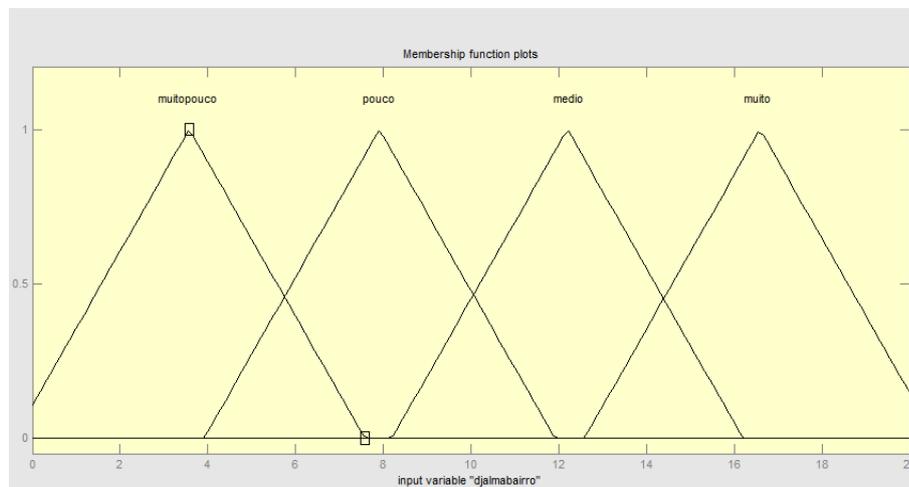
Fonte: Autor

Para o controlador desse cruzamento também são considerados dois ciclos de fases do semáforo, que são:

- Ciclo 1: é o ciclo em que o semáforo da Av. Djalma Batista no sentido bairro permanece em estado verde e o semáforo da Av. Djalma Batista no sentido centro permanece em vermelho.
- Ciclo 2: é o ciclo contrário ao ciclo 1, onde o semáforo da Av. Djalma Batista no sentido bairro permanece em estado vermelho e o semáforo da Av. Djalma Batista no sentido centro permanece em estado verde.

Para a variável da quantidade de veículos da Av. Djalma Batista no sentido bairro, há uma consideração a ser feita. Os veículos que não realizam a conversão para a Av. Pedro Teixeira possuem passagem livre para manter-se em linha reta. Logo, os veículos que desejam realizar a conversão para a Av. Pedro Teixeira acumulam-se na faixa da esquerda. Os veículos que mantem-se em linha reta não foram contabilizados nas estatísticas de simulações. Logo, a quantidade de veículos que desejam realizar a conversão é relativamente pequena.

Figura 40 – Conjuntos *Fuzzy* definidos para a variável de quantidade de veículos na Av. Djalma Batista no sentido bairro



Fonte: Autor

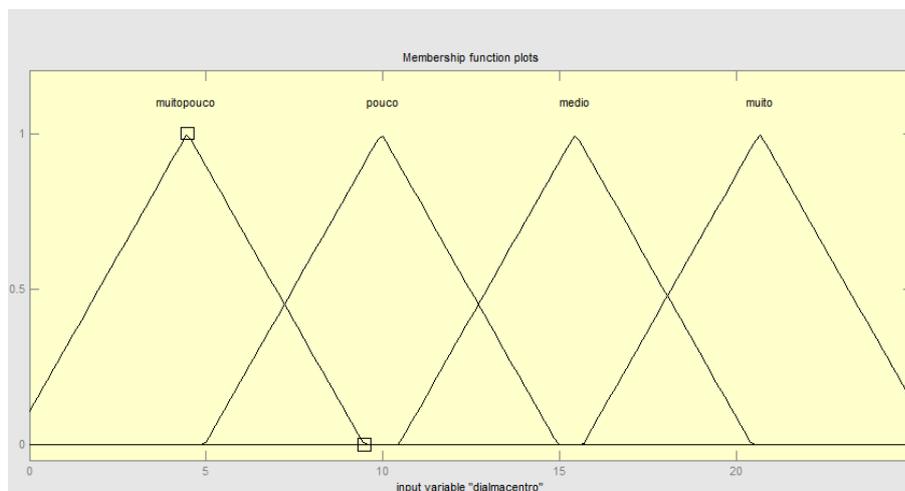
Tabela 15 – Conjuntos *Fuzzy* definidos para a variável de quantidade de carros na Av. Djalma Batista no sentido bairro.

Conjunto <i>Fuzzy</i>	pouco	medio	mediomuito	muito
Limite dos Conjuntos <i>Fuzzy</i>	[0 4 8]	[4 8 12]	[8 12 16]	[12 16 20]
Forma da função de pertinência	Triangular	Triangular	Triangular	Triangular

Fonte: Autor

Uma situação semelhante ocorre na Av. Djalma Batista no sentido centro. Os veículos que desejam realizar a conversão para a Av. Pedro Teixeira utilizam a direita livre para realizar tal movimento. Consequentemente, o semáforo controla apenas os veículos que desejam manter-se em linha reta. Devido ao trecho onde se localiza a direita livre ser muito próximo ao semáforo, ocorre que nem sempre os veículos conseguem realizar a conversão, pois ficam impedidos pelos veículos à sua frente, parados devido ao semáforo. Logo, mesmo que não se utilizem do semáforo, os mesmos serão contabilizados para o controle.

Figura 41 – Conjuntos *Fuzzy* definidos para a variável de quantidade de veículos na Av. Djalma Batista no sentido centro



Fonte: Autor

Tabela 16 – Conjuntos *Fuzzy* definidos para a variável de quantidade de carros na Av. Djalma Batista no sentido centro

Conjunto <i>Fuzzy</i>	pouco	medio	mediomuito	muito
Limite dos Conjuntos <i>Fuzzy</i>	[0 5 10]	[6.5 11.6 16.6]	[13.33 18.33 23.33]	[20 25 30]
Forma da função de pertinência	Triangular	Triangular	Triangular	Triangular

Fonte: Autor

Esse cruzamento, por ser mais simples e com menor fluxo de veículos, gera saídas de amplitudes menores aos outros controladores. Os valores gerados pelo controlador podem ser visualizados na tabela 17.

Tabela 17 – Valores da saída do controlador.

Saída	Tempo de verde do ciclo 1	Tempo de verde do ciclo 2
Intervalo de valores de tempo possíveis	10~30	10~30

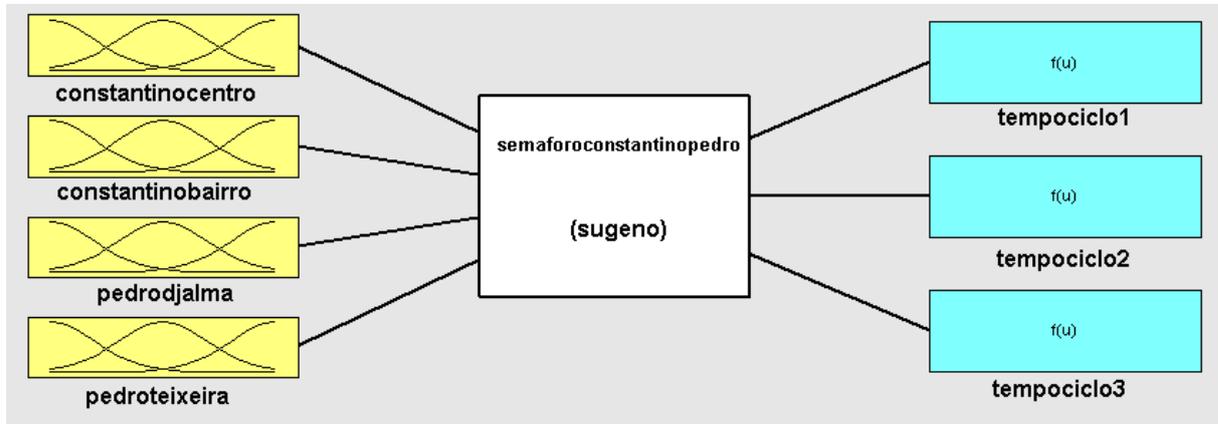
Fonte: Autor

As regras desse controlador podem ser visualizadas no Apêndice B.

Definido o controle do cruzamento entre a Av. Pedro Teixeira e Av. Djalma Batista, foi projetado o controlador *fuzzy* do cruzamento entre a Av. Pedro Teixeira e Av. Constantino Nery. Esse cruzamento é o que possui maior complexidade entre os três cruzamentos neste trabalho. Isso se deve ao fato de haver um grande fluxo vindo de todos os pontos do cruzamento. Soma-se a isso o fato de haver uma grande quantidade de movimentos que podem ser realizados no mesmo. Outro fato é que há seis temporizados para controlar.

Tendo em vista essas características, o controlador *fuzzy* utilizado nesse cruzamento pode ser visualizado na figura 42.

Figura 42 – Controlador *Fuzzy* do cruzamento entre as Av. Djalma Batista e Rua Rondônia



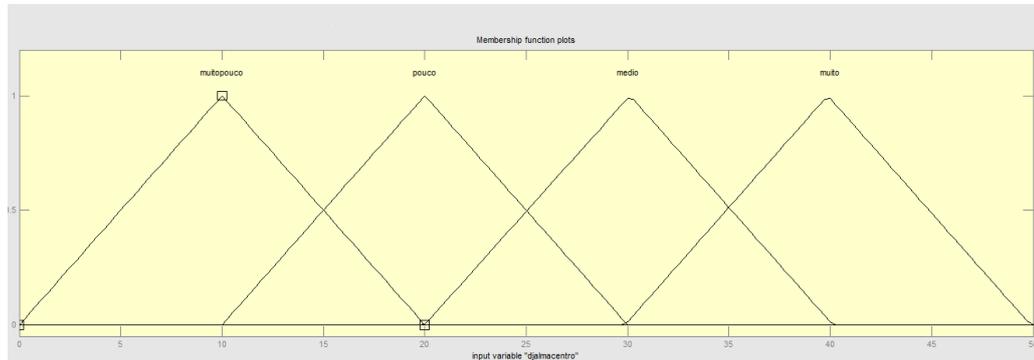
Fonte: Autor

Para este controlador, é necessário definir três ciclos nos quais os semáforos devem seguir, esses ciclos são:

- Ciclo 1: é o ciclo em que o semáforo que rege a Av. Pedro Teixeira vindo do bairro Dom Pedro mantém o estado verde, enquanto os semáforos da Av. Constantino Nery e do trecho da Av. Pedro Teixeira localizado entre as Av. Djalma batista e Av. Constantino Nery mantém o estado vermelho.
- Ciclo 2: é o ciclo em que o semáforo que rege a Av. Constantino Nery em ambos os sentidos mantém o estado verde, enquanto os semáforos da Av. Pedro Teixeira vindo do bairro Dom Pedro e do trecho da Av. Pedro Teixeira localizado entre as Av. Djalma batista e Av. Constantino Nery mantém o estado vermelho.
- Ciclo 3: é o ciclo em que o semáforo que rege o trecho da Av. Pedro Teixeira localizado entre as Av. Djalma batista e Av. Constantino Nery mantém o estado verde, enquanto os semáforos da Av. Pedro Teixeira vindo do bairro Dom Pedro e da Av. Constantino Nery mantém o estado vermelho.

A variável de quantidade de veículos provenientes da Av. Constantino Nery no sentido centro possui valores mais altos que em outros cruzamentos. Porém, os veículos possuem apenas a opção de seguirem reto. Com isso, os conjuntos *fuzzy* para essa variável são definidos na figura 43 e na tabela 18.

Figura 43 – Conjuntos *Fuzzy* definidos para a variável de quantidade de veículos na Av. Constantino Nery no sentido centro



Fonte: Autor

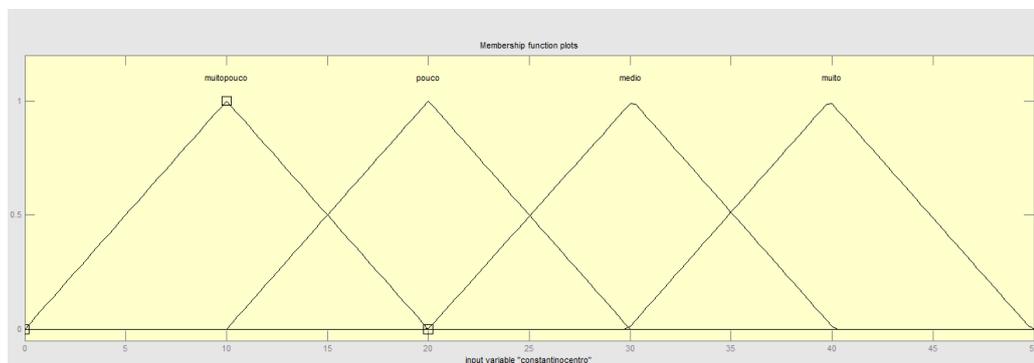
Tabela 18 – Conjuntos *Fuzzy* definidos para a variável de quantidade de carros na Av. Constantino no sentido centro

Conjunto <i>Fuzzy</i>	pouco	medio	mediomuito	muito
Limite dos Conjuntos <i>Fuzzy</i>	[0 10 20]	[10 20 30]	[20 30 40]	[30 40 50]
Forma da função de pertinência	Triangular	Triangular	Triangular	Triangular

Fonte: Autor

A Av. Constantino Nery no sentido bairro possui fluxo semelhante ao sentido centro. Porém ambas se diferenciam pelo fato de, no sentido bairro, há uma conversão à direita. Todavia, essa conversão não é tão utilizada. Logo, foram utilizados conjuntos semelhantes, como pode ser observado na figura 44 e na tabela 19.

Figura 44 – Conjuntos *Fuzzy* definidos para a variável de quantidade de carros na Av. Constantino no sentido bairro



Fonte: Autor

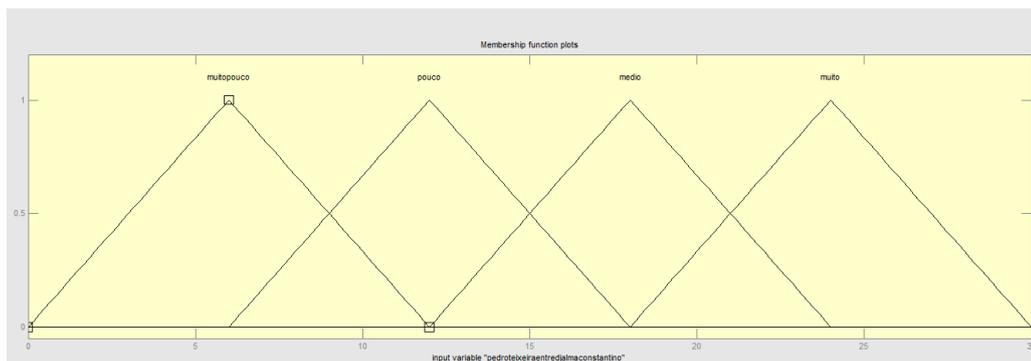
Tabela 19 – Conjuntos *Fuzzy* definidos para a variável de quantidade de carros na Av. Constantino no sentido bairro

Conjunto <i>Fuzzy</i>	pouco	medio	mediomuito	muito
Limite dos Conjuntos <i>Fuzzy</i>	[0 10 20]	[10 20 30]	[20 30 40]	[30 40 50]
Forma da função de pertinência	Triangular	Triangular	Triangular	Triangular

Fonte: Autor

Dentre as interseções que compõem esse cruzamento, o trecho da Av. Pedro Teixeira localizado entre as Av. Djalma Batista e Av. Constantino Nery é a que possui o menor fluxo de veículos. Devido a essa característica, seus conjuntos possuem limites menores que das outras avenidas, como é possível observar na figura 45 e na tabela 20.

Figura 45 – Conjuntos *Fuzzy* definidos para a variável de quantidade de veículos na Av. Pedro Teixeira entre as Av. Djalma Batista e Constantino Nery.



Fonte: Autor

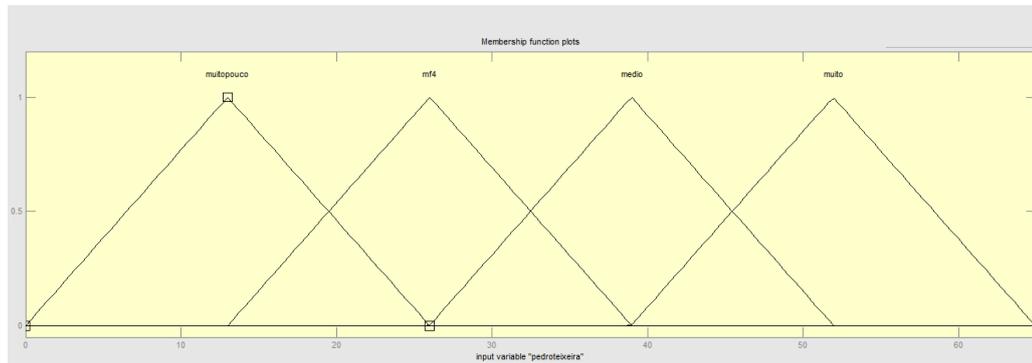
Tabela 20 – Conjuntos *Fuzzy* definidos para a variável de quantidade de carros na Av. Djalma Batista no sentido centro

Conjunto <i>Fuzzy</i>	pouco	medio	mediomuito	muito
Limite dos Conjuntos <i>Fuzzy</i>	[0 6 12]	[6 12 18]	[12 18 24]	[18 24 30]
Forma da função de pertinência	Triangular	Triangular	Triangular	Triangular

Fonte: Autor

A Av. Pedro Teixeira vindo do bairro Dom Pedro é a que possui a maior probabilidade de ocorrer congestionamento. Durante as simulações com tempo fixo, a mesma apresentou alto valores de veículos. Conseqüentemente, a mesma possui valores de intervalos maiores, condizentes com essa condição. Isso pode ser visualizado na figura 46 e na tabela 21

Figura 46 – Conjuntos *Fuzzy* definidos para a variável de quantidade de veículos na Av. Pedro Teixeira



Fonte: Autor

Tabela 21 – Conjuntos *Fuzzy* definidos para a variável de quantidade de carros na Av. Pedro Teixeira

Conjunto <i>Fuzzy</i>	pouco	medio	mediomuito	muito
Limite dos Conjuntos <i>Fuzzy</i>	[0 13 26]	[13 26 39]	[26 39 52]	[39 52 64]
Forma da função de pertinência	Triangular	Triangular	Triangular	Triangular

Fonte: Autor

Tabela 22 – Valores da saída do controlador.

Saída	Tempo de verde do ciclo 1	Tempo de verde do ciclo 2	Tempo de verde do ciclo 3
Intervalo de valores de tempo possíveis	20~60	15~45	15~35

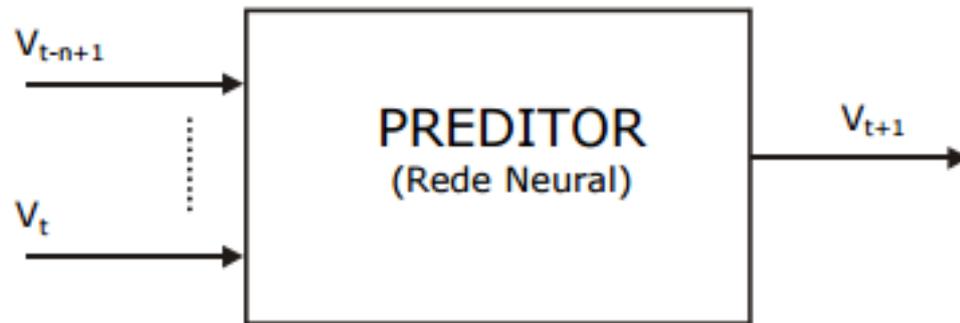
Fonte: Autor

As regras desse controlador podem ser visualizadas no Apêndice C.

### 4.3.3 Predição do tráfego por Redes Neurais

Com o intuito de tornar o sistema mais responsivo, foram utilizadas Redes Neurais para auxiliar no controle do tráfego. Neste trabalho, as Redes Neurais foram utilizadas na predição de tráfego. As Redes Neurais foram escolhidas para auxiliar o controle devido o fluxo de veículos poder ser quantificado em intervalos de tempo. Isso torna possível que, a partir de dados coletados da simulação, seja realizado o treinamento das redes, para que as mesmas possam informar o volume de tráfego futuro.

Figura 47 – Bloco de predição de dados



Fonte: Autor

Com o intuito de tornar as predições realizadas mais fidedignas, foi utilizada uma Rede Neural para cada via na qual havia um sensoriamento na simulação. Cada uma dessas redes é uma Rede Neural do tipo *feedforward*. Redes desse tipo tem como vantagem uma alta velocidade de computação de dados, e a não necessidade de definição de um modelo para o sistema.

Definido o tipo de Rede Neural que foi utilizada, também foi necessário definir a quantidade de neurônios utilizadas pelas redes e a quantidade de gerações utilizadas para o treinamento da rede. Tendo em vista a quantidade de dados que são gerados pela simulação, devido a mesma simular duas horas de tráfego, e os sensores da via geram dados a cada segundo dentro da simulação, foi definida uma quantidade de 10 neurônios para cada rede.

Após a definição da quantidade de neurônios da redes, foi necessário definir a quantidade de iterações para o treinamento da rede. A partir de testes realizados com dados gerados pela simulação, chegou-se a conclusão de que uma quantidade de 20 iterações geraria um menor erro na predição de dados. Esse número de épocas pode ser considerado um pouco alto, mas tendo em vista que após o treinamento as redes reagem quase que de maneira instantânea no sistema com resultados satisfatórios, a quantidade de épocas foi considerada boa para o propósito do sistema. Para o treinamento das redes, foram utilizados os comandos da figura 48, sendo que cada uma das Redes Neurais utilizam os comandos da figura 48, modificando apenas os dados reais que cada rede utiliza:

Figura 48 – Código para definição e treinamento de cada Rede Neural

```

neuraldjalma1=newff(p,djalma1,10);%definição do tipo de rede e a quantidade de neurônios
Y=sim(neuraldjalma1,p);%simulação da rede sem treinamento
neuraldjalma1.trainParam.epochs=20;%definição da quantidade de iterações da rede
neuraldjalma1=train(neuraldjalma1,p,djalma1);%treinamento da rede
y=sim(neuraldjalma1,p);%simulação da rede treinada
gensim(neuraldjalma1)

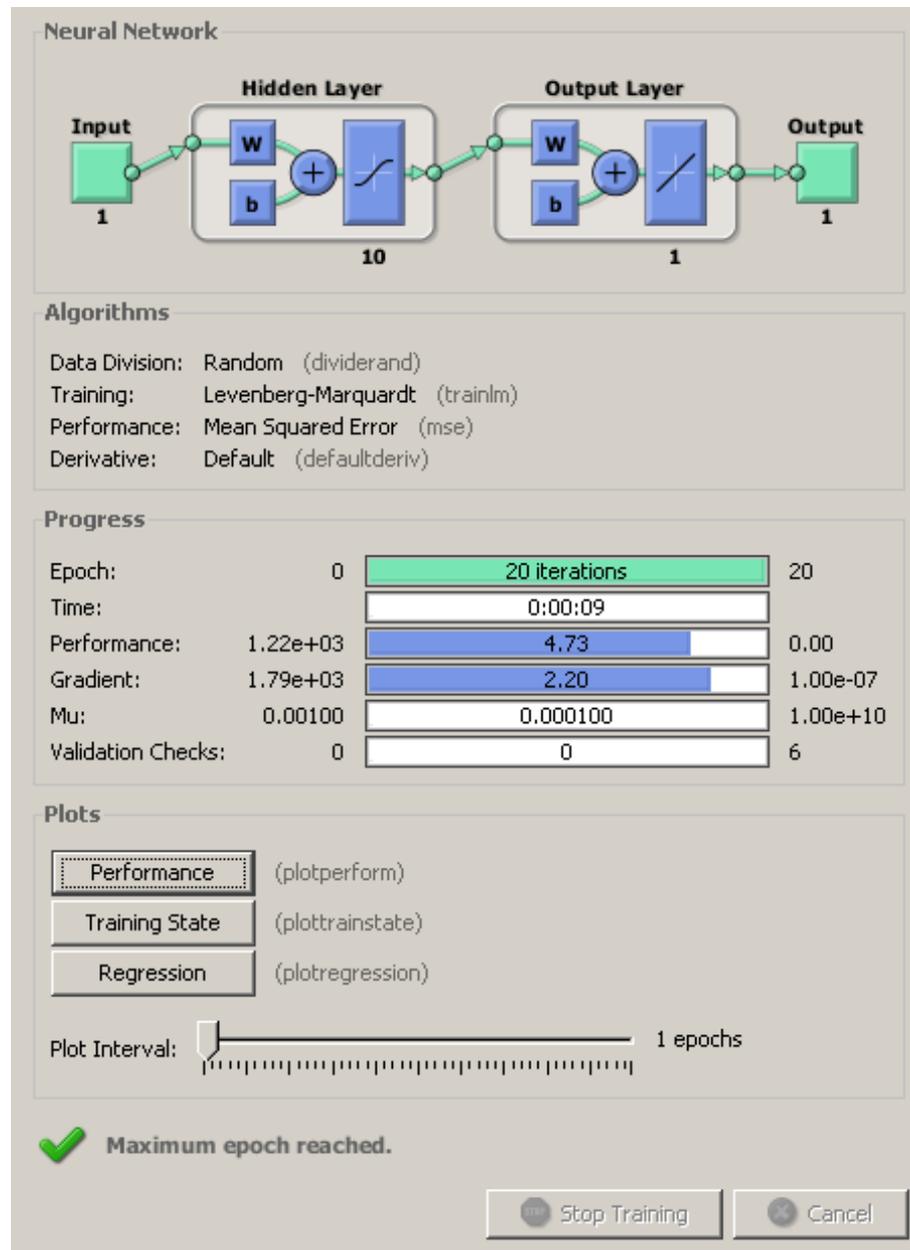
```

Fonte: Autor

Os comandos da figura 48 utilizam utilizada uma ferramenta do *software* MATLAB® chamada *nntraintool* para a realização do treinamento das Redes Neurais, que é responsável

por realizar as iterações necessárias para o treinamento da Rede Neural.

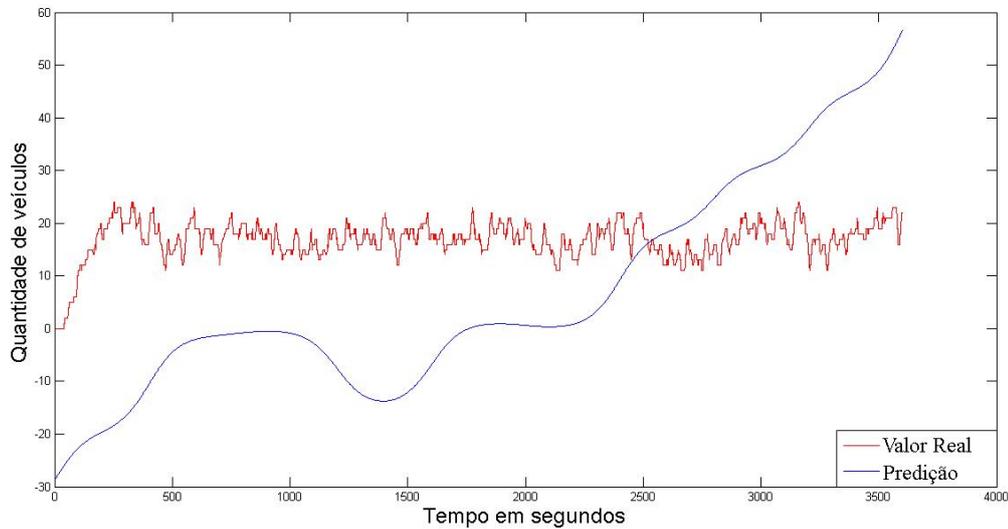
Figura 49 – Interface da ferramenta *nntraintool*



Fonte: Autor

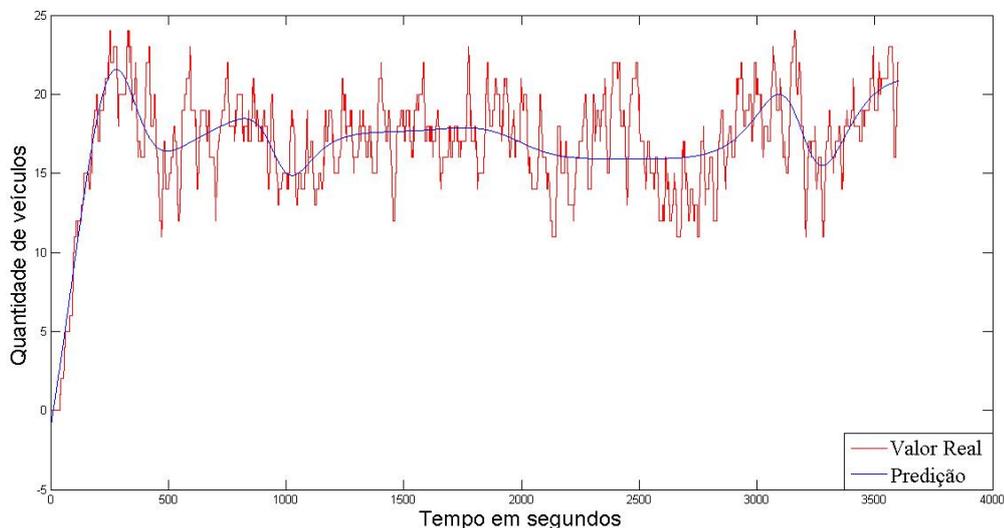
. O treinamento das Redes é necessário pelo fato de que uma rede não treinada possui um desempenho muito aquém comparado aos valores nas quais a mesma deve prever. Logo, mesmo que a mesma seja dotada de uma grande quantidade de neurônios, a mesma se torna pouco eficiente se não for treinada de maneira adequada.

Figura 50 – Rede Neural para predição de fluxo no trecho da Av. Djalma Batista no sentido bairro no cruzamento entre as Av. Djalma Batista e Pedro Teixeira sem treinamento



Fonte: Autor

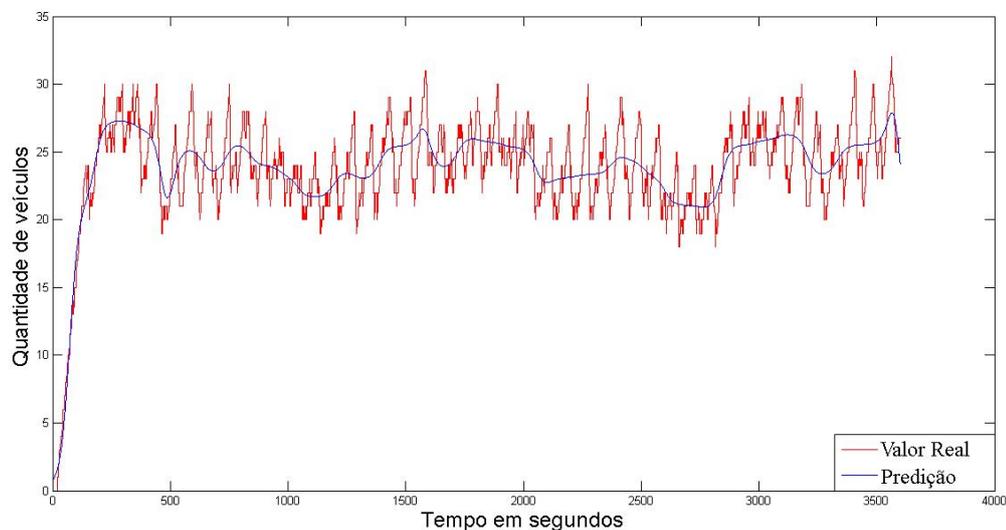
Figura 51 – Resultado do treinamento da Rede Neural para predição de fluxo no trecho da Av. Djalma Batista no sentido bairro no cruzamento entre as Av. Djalma Batista e Pedro Teixeira



Fonte: Autor

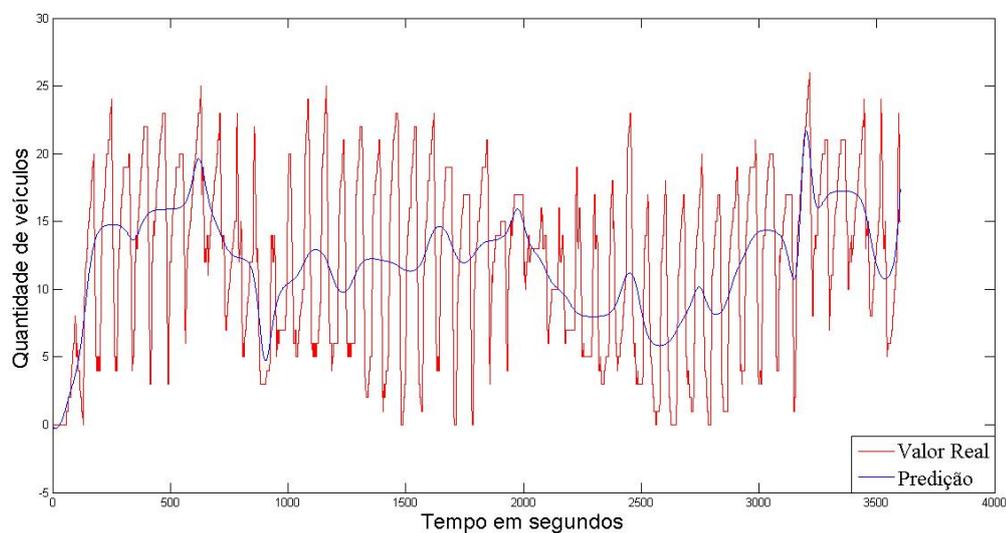
Para a predição de todos os dados do projeto, foram criadas Redes Neurais para cada rua ou avenida que fosse controlada por um cruzamento. Com isso, temos um total de 9 Redes Neurais para a predição de tráfego. Todas as Redes Neurais para a predição de fluxo de veículos possuem as mesmas características consideradas anteriormente, ou seja, são Redes Neurais do tipo *feedforward*, com 10 neurônios e que serão submetidas a 20 iterações para treinamento.

Figura 52 – Resultado do treinamento da Rede Neural para predição de fluxo no trecho da Av. Djalma Batista no sentido bairro no cruzamento entre as Av. Djalma Batista e Rua Rondônia



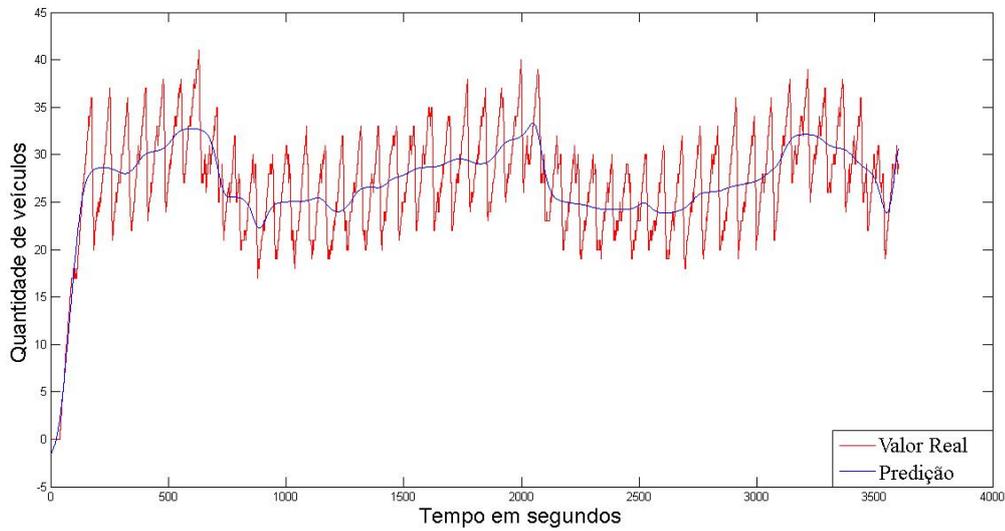
Fonte: Autor

Figura 53 – Resultado do treinamento da Rede Neural para predição de fluxo no trecho da Av. Djalma Batista no sentido centro no cruzamento entre as Av. Djalma Batista e Rua Rondônia



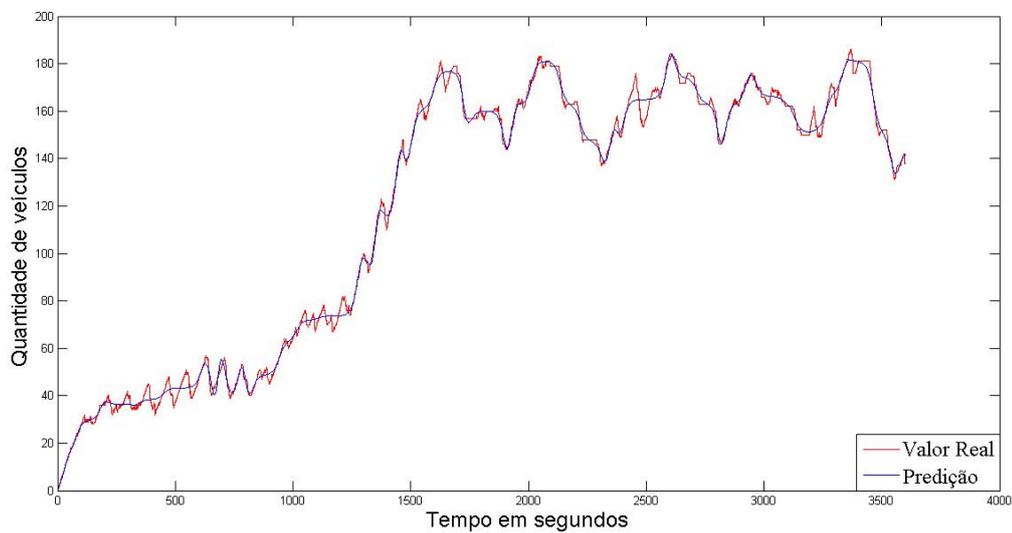
Fonte: Autor

Figura 54 – Resultado do treinamento da Rede Neural para predição de fluxo no trecho da Av. Djalma Batista no sentido centro no cruzamento entre as Av. Djalma Batista e Pedro Teixeira



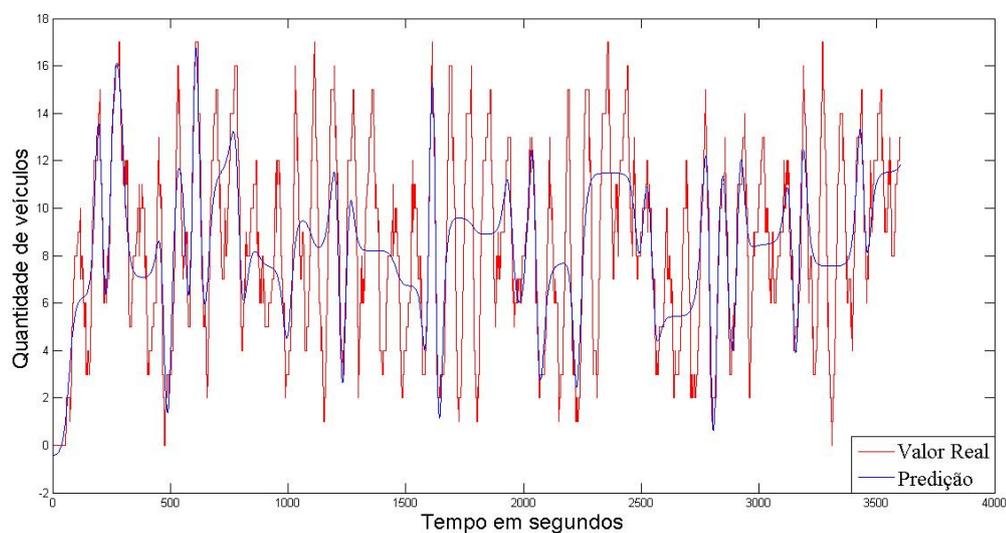
Fonte: Autor

Figura 55 – Resultado do treinamento da Rede Neural para predição de fluxo no trecho da Av. Pedro Teixeira ao lado da Arena da Amazônia



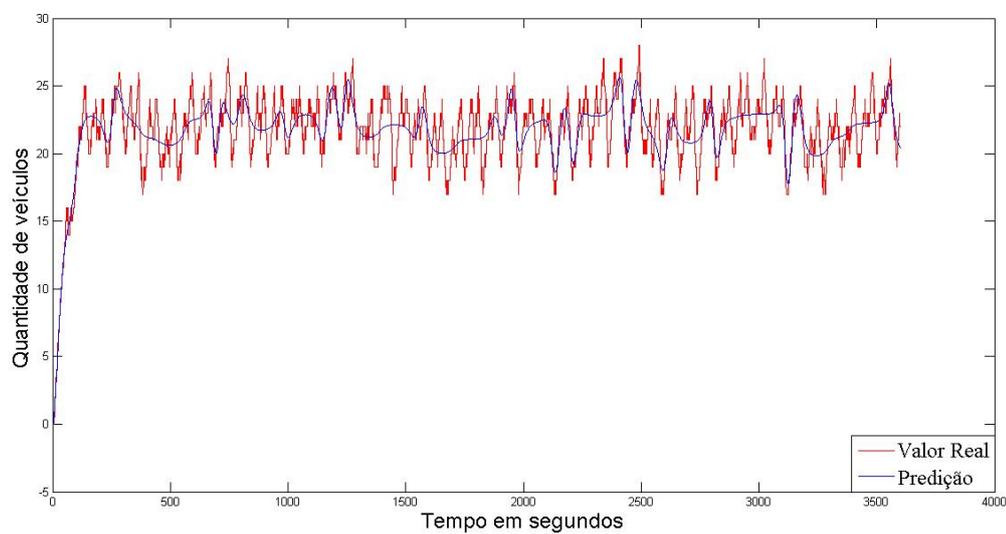
Fonte: Autor

Figura 56 – Resultado do treinamento da Rede Neural para predição de fluxo no trecho da Av. Pedro Teixeira entre as Av. Djalma Batista e Av. Constantino Nery



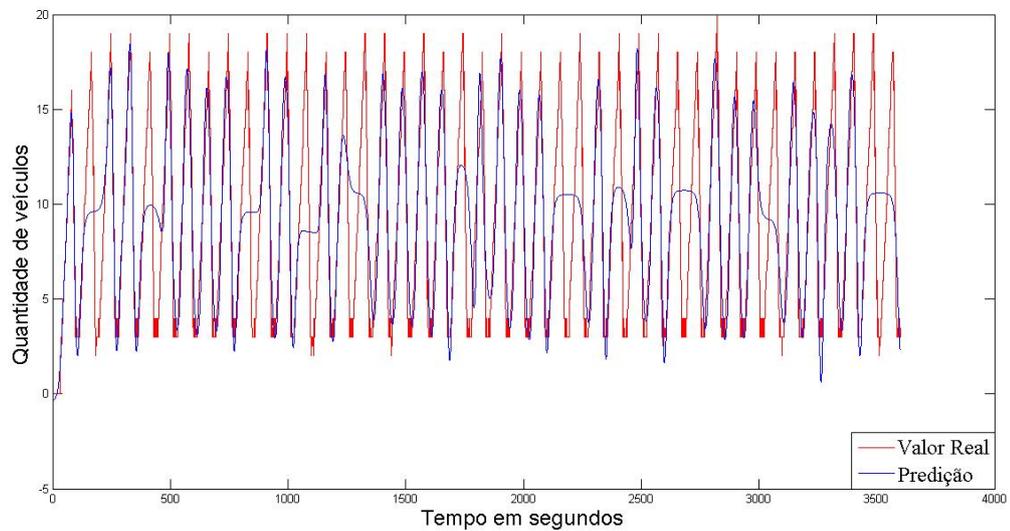
Fonte: Autor

Figura 57 – Resultado do treinamento da Rede Neural para predição de fluxo na Rua Rondônia



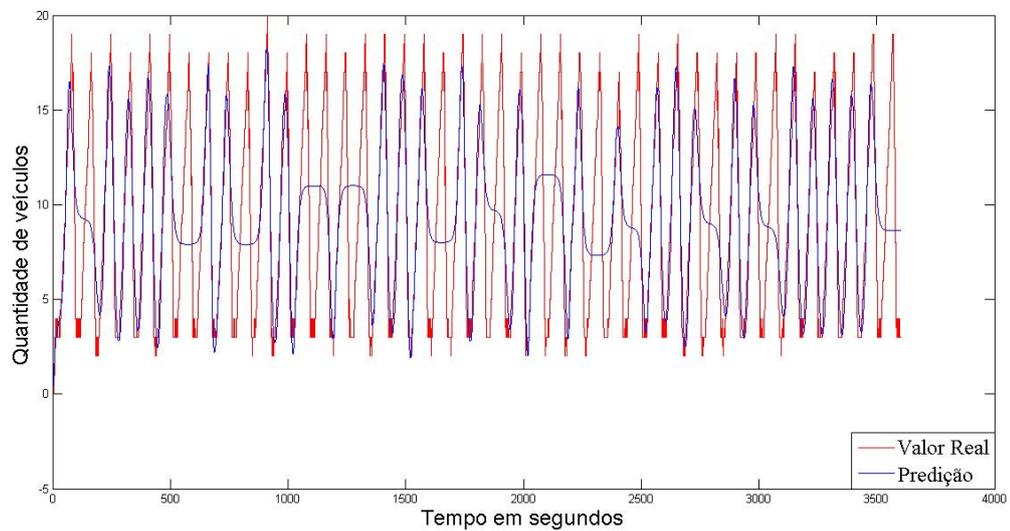
Fonte: Autor

Figura 58 – Resultado do treinamento da Rede Neural para predição de fluxo na Av. Constantino Nery no sentido centro



Fonte: Autor

Figura 59 – Resultado do treinamento da Rede Neural para predição de fluxo na Av. Constantino Nery no sentido bairro



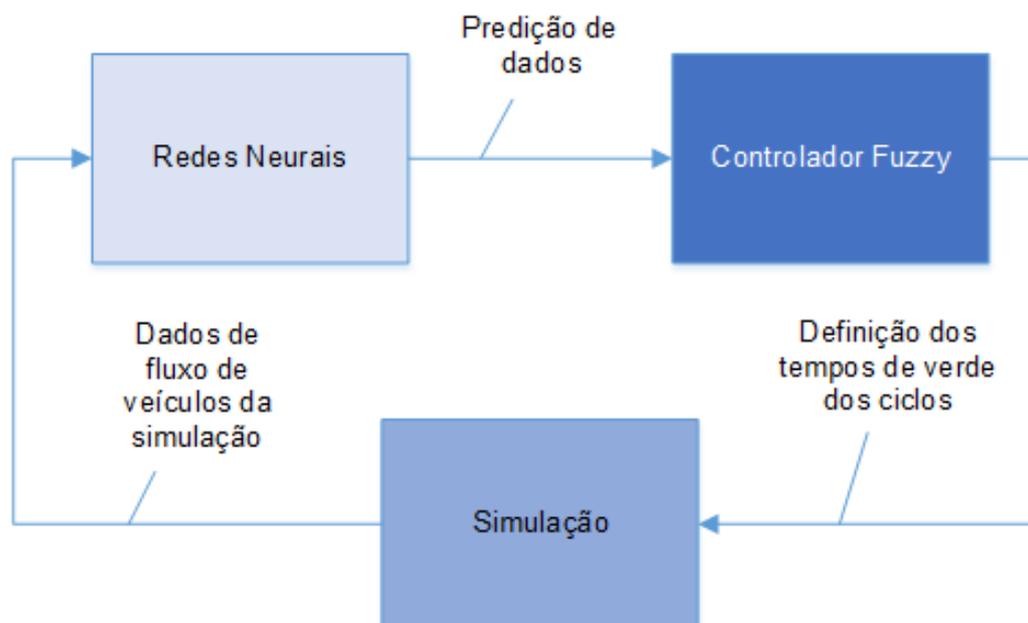
Fonte: Autor

Após o treinamento das redes neurais, foi verificado que, considerando as condições de contorno do projeto, as mesmas realizavam a predição de dados futuros de maneira satisfatória.. Foi concluído que a quantidade de neurônios e de épocas de treinamento foram suficiente para realizar uma predição fiel ao comportamento real do tráfego na área.

## 4.4 Funcionamento da simulação

Definidos todos os parâmetros que farão parte da simulação, foi possível definir a maneira na qual a simulação se daria, como pode ser observado na figura 60.

Figura 60 – Fluxograma de funcionamento da simulação



Fonte: Autor

Os dados coletados foram utilizados na predição de fluxo de veículos, servindo como valores para o treinamento da Rede Neural. Com a Rede Neural Treinada, a mesma dispõe dados futuros do trânsito para o controlador *fuzzy*, que realiza a mudança nos valores de saída e enviam os mesmos para a simulação.

## 5 RESULTADOS OBTIDOS

Para realizar a comparação entre os semáforos de tempo fixo e o controle com Redes Neurais e Lógica *Fuzzy*, foi necessário realizar uma simulação baseada no cenário real. Para isso, foi configurada uma simulação equivalente a duas horas, que simularia o trânsito no horário de pico da tarde, que engloba o horário das 17:00 às 19:00 horas, em condições de tráfego baseadas nos dados fornecidos e coletados para este trabalho.

Como parâmetro de eficiência, foi utilizado tempo de viagem médio dos veículos dentro das vias. O tempo de viagem foi medido a partir de dados coletados durante as simulações com tempo fixo e com os controladores *fuzzy* e as redes neurais ativas. O tempo de viagem de todos os veículos foram coletados, e a partir desses dados foi realizada uma média aritmética das duas simulações.

Feitas estas considerações, foi necessário definir os percursos que teriam seus tempos medidos. Sendo assim, foram definidos os percursos que seriam utilizados para a comparação de tempos:

- Percurso 1: Veículos que partem da rua Rondônia, seguem pela Av. Djalma Batista no sentido bairro, realizam a conversão para a Av. Pedro Teixeira e realizam a conversão para a Av. Constantino Nery no sentido bairro.
- Percurso 2: Veículos que partem da rua Rondônia, seguem pela Av. Djalma Batista no sentido bairro, realizam a conversão para a Av. Pedro Teixeira e realizam a conversão para a Av. Constantino Nery no sentido centro.
- Percurso 3: Veículos que partem do início da Av. Djalma Batista no sentido bairro, realizam a conversão para a Av. Pedro Teixeira e realizam a conversão para a Av. Constantino Nery no sentido bairro.
- Percurso 4: Veículos que partem do início da Av. Djalma Batista no sentido bairro, realizam a conversão para a Av. Pedro Teixeira e realizam a conversão para a Av. Constantino Nery no sentido centro.
- Percurso 5: Veículos que partem do início da Av. Constantino Nery no sentido bairro e mantem-se na Av. Constantino Nery após o cruzamento com a Pedro Teixeira.
- Percurso 6: Veículos que partem do início da Av. Constantino Nery no sentido centro e mantem-se na Av. Constantino Nery após o cruzamento com a Pedro Teixeira.
- Percurso 7: Veículos que partem do início da Av. Constantino Nery no sentido bairro, realizam a conversão para a Av. Pedro Teixeira e realizam a conversão para a Av. Djalma Batista.

- Percurso 8: Veículos que partem do início da Av. Djalma Batista no sentido centro, realizam a conversão para a Av. Pedro Teixeira e realizam a conversão para a Av. Constantino Nery no sentido bairro.
- Percurso 9: Veículos que partem do início da Av. Djalma Batista no sentido centro, realizam a conversão para a Av. Pedro Teixeira e realizam a conversão para a Av. Constantino Nery no sentido centro.
- Percurso 10: Veículos que partem do início da Av. Djalma Batista no sentido centro e mantem-se na Av. Djalma Batista após o cruzamento com a Pedro Teixeira.
- Percurso 11: Veículos que partem da Av. Pedro Teixeira e realizam conversão na Av. Djalma Batista sentido bairro.
- Percurso 12: Veículos que partem da Av. Pedro Teixeira e realizam conversão na Av. Djalma Batista sentido centro.
- Percurso 13: Veículos que partem da Av. Pedro Teixeira, seguem reto e realizam conversão na Av. Djalma Batista.

Tabela 23 – Comparação entre o tempo médio de viagem dos veículos com semáforos atuando com o tempo fixo e com tempo regulado pelos controladores

Percursos	Tempo de percurso com tempo fixo (em segundos)	Tempo de percursos com os controladores (em segundos)	Porcentagem de melhoria nos tempos de viagem( em %)
Percurso 1	215,4	197,1	8,50
Percurso 2	183,1	173,1	5,46
Percurso 3	230,9	212,0	8,19
Percurso 4	171,2	168,9	1,34
Percurso 5	133,2	123,2	7,51
Percurso 6	165,0	160,6	2,67
Percurso 7	149,6	150,2	-0,40
Percurso 8	135,7	130,3	3,98
Percurso 9	166,4	150,2	9,74
Percurso 10	120,4	108,1	10,22
Percurso 11	84,2	81,1	3,68
Percurso 12	75,3	72,0	4,38
Percurso 13	134,8	129,5	3,93

Fonte: Autor

Para todos os percursos analisados, com exceção do percurso 7, onde houve um aumento mínimo, houve uma diminuição no tempo. Essa diminuição do tempo de viagem varia de 1 a 10%, dependendo do percurso.

Considerando todos os veículos que adentram a simulação, e realizando uma média aritmética do tempo que cada veículo leva para realizar os seus respectivos percursos, foi

verificado que houve uma diminuição de 8,24% no tempo de viagem dos veículos. Essa porcentagem pode ser representada como uma diminuição média de 10,1 segundos no tempo de viagem dos veículos na simulação.

A diminuição no tempo de viagem não implica apenas diretamente num percurso mais rápido. Um percurso realizado em menor tempo também significa um menor tempo parado nos semáforos, o que implica numa diminuição da quantidade de filas nos semáforos. Uma quantidade menor de veículos no semáforo permite com que o controlador dê uma preferência maior para o cruzamento adjacente, caso o mesmo esteja com mais veículos em espera. Os efeitos do desafogamento vão gerando um círculo virtuoso, que contribui com a maior fluidez do trânsito na região.

## 6 CONCLUSÕES

Como resultado das simulações, o sistema de controle inteligente utilizando Lógica Fuzzy e Redes Neurais obteve êxito na diminuição do tempo de viagem comparado ao sistema semafórico de tempo fixo. E, devido ao fato da simulação utilizar dados reais da região em questão, o mesmo é adequado para a utilização em no sistema semafórico da região. Considerando todos os veículos nas vias, sem discriminação de percurso, houve uma diminuição de 8,24% no tempo de viagem, equivalente a 10,1 segundos de diminuição no tempo de viagem.

As regras utilizadas para os controladores *fuzzy* conseguiram definir uma maneira vantajosa de realizar o controle do fluxo de veículos na área na pior condição possível, desconsiderando fatores extraordinários como acidentes e obras nas vias. As Redes Neurais utilizadas neste trabalho realizaram com sucesso a predição de dados a partir dos treinamentos que as mesmas foram submetidas. Com isso, o sistema como um todo apresentou respostas mais rápidas em tomada de decisão, pois havia uma diminuição na velocidade de processamento das informações quando não eram utilizadas as Redes Neurais para a predição de dados.

### 6.1 Dificuldades encontradas

Como o Sumo e o MATLAB® não realizam comunicação entre si, foi necessário utilizar meios alternativos para tornar essa comunicação possível. Porém, a documentação existente para essa comunicação é escassa, e realizar a pesquisa para contornar essa adversidade consumiu tempo, que foi subtraído dos outros passos do trabalho. Para que a comunicação funcionasse, foi necessário adquirir alguns conhecimentos de comunicação TCP/IP e *python* que não estavam no planejamento do trabalho, para que fosse corrigida a conexão entre eles.

Boa parte dos dados das vias foi disponibilizada pela MANAUSTRANS. Infelizmente, para a região utilizada no trabalho, não haviam todos os dados de fluxo de veículos. Para resolver essa situação, foi necessário realizar a coleta de dados em algumas vias no local em horário de pico, realizando a contagem manual da quantidade de carros.

### 6.2 Trabalhos futuros

- Mediante o estudo do comportamento da rede de vias utilizando simulações, é relevante a aplicação do sistema em uma área real, objetivando a disponibilidade concreta de uma ferramenta que auxilie o melhoria do trânsito.

- 
- Utilização de câmeras, objetivando a detecção de congestionamento mediante o processamento digital de imagens.
  - Inclusão de algoritmos genéticos, visto que os mesmos utilizam conceitos da genética e seleção natural para explorar grande quantidade de dados.
  - Estender o estudo e aplicação do método a outras regiões da cidade de Manaus que necessitam de um melhor gerenciamento do seu fluxo de veículos.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M. *Estudo para aprimoramento da operação de controladores semafóricos fuzzy*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Brasília, 2010. 21, 22
- BARRETO, J. M. Introdução as redes neurais artificiais. *V Escola Regional de Informática. Sociedade Brasileira de Computação, Regional Sul, Santa Maria, Florianópolis, Maringá*, p. 5–10, 2002. 32, 33
- BENNETT, J. *OpenStreetMap*. [S.l.]: Packt Publishing Ltd, 2010. 36
- BRAGA, A. de P. *Redes Neurais Artificiais: Teoria e aplicações*. [S.l.]: LTC-Livros técnicos e científicos Editora, 2007. 33
- GILAT, A. *MATLAB com Aplicações em Engenharia*. 2ª edição. ed. [S.l.]: Bookman, 2006. 37
- HAKLAY, M.; WEBER, P. Openstreetmap: User-generated street maps. *Pervasive Computing, IEEE, IEEE*, v. 7, n. 4, p. 12–18, 2008. 36
- HAYKIN, S. S. *Redes neurais*. [S.l.]: Bookman, 2001. 32
- HEINEN, M. R. et al. Controle inteligente de semáforos utilizando redes neurais artificiais com funções de base radial. 2012. 23, 24, 25, 26
- JANG, J.-S. R.; SUN, C.-T. *Neuro-fuzzy and soft computing: a computational approach to learning and machine intelligence*. [S.l.]: Prentice-Hall, Inc., 1996. 34
- KERNER, B. S. *Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control: the long road to Three-Phase Traffic Theory*. [S.l.]: Berlin: Springer, 2009. 27, 28
- KRAJZEWICZ, D. et al. Recent development and applications of SUMO - Simulation of Urban MObility. *International Journal On Advances in Systems and Measurements*, v. 5, n. 3&4, p. 128–138, December 2012. 34, 35
- MATHWORKS, T. *Simulink getting started guide*. 2014. 37
- MEDEIROS, A. V. de; MAITELLI, A. L.; FILHO, O. G. Otimização das funções de pertinência de um controlador nebuloso utilizando algoritmos genéticos. *V Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, Canela, RS.*, 2001. 31
- OBSERVATÓRIO, D. M. Evolução da frota de automóveis e motos no brasil: 2001–2012 (relatório 2013). *Rio de Janeiro, Outubro de*, 2013. 14
- PARK, M. J. Three phase traffic theory. 2012. 31
- RESENDE, P. T. V. d.; SOUSA, P. R. d. Mobilidade urbana nas grandes cidades brasileiras: um estudo sobre os impactos do congestionamento. *SIMPOI–SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS, FGV*, 2009. 16

- SANTOS, M. M. dos; CARDOSO, H. F.; SANTOS, T. M. d. M. dos. Avaliação dos estressores no trânsito: desenvolvimento da escala de estressores trânsito (eset). *Estudos e Pesquisas em Psicologia*, v. 12, n. 1, p. 175–187, 2012. [15](#)
- SIMÕES, M. G. *Controle e modelagem Fuzzy*. [S.l.]: Editora Blucher, 2000. [31](#), [33](#)
- TAKAGI, H.; LEE, M. *Neural networks and genetic algorithm approaches to auto-design of fuzzy systems*. [S.l.]: Springer, 1993. [31](#)
- TORRES, V. H. X.; LEAL, S. S.; ALMEIDA, P. E. M. de. Modelagem fuzzy para o problema de temporização semafórica em interseções de quatro tempos doi-10.5752/p.2316-9451.2014 v3n1p59. *Abakós*, v. 3, n. 1, p. 59–74, 2014. [19](#), [20](#), [21](#)
- VIEIRA, J.; DIAS, F. M.; MOTA, A. Neuro-fuzzy systems: A survey. In: *5th WSEAS NNA International Conference on Neural Networks and Applications, Udine, Italia*. [S.l.: s.n.], 2004. [34](#)
- WEGENER, A. et al. Traci: an interface for coupling road traffic and network simulators. In: *ACM. Proceedings of the 11th communications and networking simulation symposium*. [S.l.], 2008. p. 155–163. [38](#)

## Apêndice A – REGRAS DO CONTROLADOR DO SEMÁFORO DO CRUZAMENTO ENTRE A RUA RONDÔNIA E AV. DJALMA BATISTA

Para o entendimento das regras abaixo, são necessárias as seguintes informações:

- rondonia: é a quantidade de veículos que estão parados no semáforo na Rua Rondônia.
- djalmacentro: é a quantidade de veículos que estão parados no semáforo na Av. Djalma Batista no sentido centro.
- djalmabentro: é a quantidade de veículos que estão parados no semáforo na Av. Djalma Batista no sentido bairro.

1. Se (rondonia é pouco) e (djalmacentro é pouco) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é pouco)
2. Se (rondonia é pouco) e (djalmacentro é medio) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é medio)
3. Se (rondonia é pouco) e (djalmacentro é mediomuito) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é mediomuito)
4. Se (rondonia é pouco) e (djalmacentro é muito) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é muito)
5. Se (rondonia é medio) e (djalmacentro é pouco) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é pouco)
6. Se (rondonia é medio) e (djalmacentro é medio) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é medio)
7. Se (rondonia é medio) e (djalmacentro é mediomuito) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é mediomuito)
8. Se (rondonia é medio) e (djalmacentro é muito) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é muito)
9. Se (rondonia é mediomuito) e (djalmacentro é pouco) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é pouco)
10. Se (rondonia é mediomuito) e (djalmacentro é medio) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é medio)
11. Se (rondonia é mediomuito) e (djalmacentro é mediomuito) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é mediomuito)
12. Se (rondonia é mediomuito) e (djalmacentro é muito) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é muito)

13. Se (rondonia é muito) e (djalmacentro é pouco) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é pouco)
14. Se (rondonia é muito) e (djalmacentro é medio) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é medio)
15. Se (rondonia é muito) e (djalmacentro é mediomuito) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é mediomuito)
16. Se (rondonia é muito) e (djalmacentro é muito) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é muito)
17. Se (rondonia é pouco) e (djalmabairro é pouco) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é pouco)
18. Se (rondonia é pouco) e (djalmabairro é mediomuito) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é medio)
19. Se (rondonia é pouco) e (djalmabairro é medio) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é mediomuito)
20. Se (rondonia é pouco) e (djalmabairro é muito) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é muito)
21. Se (rondonia é medio) e (djalmabairro é pouco) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é pouco)
22. Se (rondonia é medio) e (djalmabairro é mediomuito) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é medio)
23. Se (rondonia é medio) e (djalmabairro é medio) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é mediomuito)
24. Se (rondonia é medio) e (djalmabairro é muito) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é muito)
25. Se (rondonia é mediomuito) e (djalmabairro é pouco) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é pouco)
26. Se (rondonia é mediomuito) e (djalmabairro é mediomuito) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é medio)
27. Se (rondonia é mediomuito) e (djalmabairro é medio) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é mediomuito)
28. Se (rondonia é mediomuito) e (djalmabairro é muito) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é muito)
29. Se (rondonia é muito) e (djalmabairro é pouco) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é pouco)
30. Se (rondonia é muito) e (djalmabairro é mediomuito) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é medio)
31. Se (rondonia é muito) e (djalmabairro é medio) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é mediomuito)

32. Se (rondonia é muito) e (djalmabairro é muito) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é muito)

## Apêndice B – REGRAS DO CONTROLADOR DO SEMÁFORO DO CRUZAMENTO ENTRE A AV. PEDRO TEIXEIRA E AV. CONSTANTINO NERY

Para o entendimento das regras abaixo, são necessárias as seguintes informações:

- ConstantinoBairro: é a quantidade de veículos que estão parados no semáforo na Av. Constantino Nery no sentido bairro.
- ConstantinoCentro: é a quantidade de veículos que estão parados no semáforo na Av. Constantino Nery no sentido centro.
- PedroDjalma: é a quantidade de veículos que estão parados no semáforo no trecho da Av. Pedro Teixeira entre as Av. Constantino Nery e Av. Djalma Batista.
- PedroTeixeira: é a quantidade de veículos que estão parados no semáforo na Av. Pedro Teixeira, ao lado da Arena da Amazônia.

1. Se (ConstantinoBairro é pouco) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é pouco)
2. Se (ConstantinoBairro é pouco) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é medio)
3. Se (ConstantinoBairro é pouco) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é medio-muito) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é mediomuito)
4. Se (ConstantinoBairro é pouco) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é muito)
5. Se (ConstantinoBairro é pouco) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é pouco)
6. Se (ConstantinoBairro é pouco) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é medio)
7. Se (ConstantinoBairro é pouco) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é medio-muito) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é mediomuito)
8. Se (ConstantinoBairro é pouco) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é muito)
9. Se (ConstantinoBairro é pouco) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é pouco)
10. Se (ConstantinoBairro é pouco) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é medio)

11. Se (ConstantinoBairro é pouco) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é mediomuito) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é mediomuito)
12. Se (ConstantinoBairro é pouco) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é muito)
13. Se (ConstantinoBairro é pouco) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é pouco)
14. Se (ConstantinoBairro é pouco) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é medio)
15. Se (ConstantinoBairro é pouco) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é mediomuito) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é mediomuito)
16. Se (ConstantinoBairro é pouco) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é muito)
17. Se (ConstantinoBairro é medio) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é pouco)
18. Se (ConstantinoBairro é medio) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é medio)
19. Se (ConstantinoBairro é medio) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é mediomuito) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é mediomuito)
20. Se (ConstantinoBairro é medio) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é muito)
21. Se (ConstantinoBairro é medio) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é pouco)
22. Se (ConstantinoBairro é medio) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é medio)
23. Se (ConstantinoBairro é medio) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é mediomuito) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é mediomuito)
24. Se (ConstantinoBairro é medio) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é muito)
25. Se (ConstantinoBairro é medio) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é pouco)
26. Se (ConstantinoBairro é medio) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é medio)
27. Se (ConstantinoBairro é medio) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é mediomuito) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é mediomuito)
28. Se (ConstantinoBairro é medio) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é muito)

29. Se (ConstantinoBairro é medio) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é pouco)

30. Se (ConstantinoBairro é medio) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é medio)

31. Se (ConstantinoBairro é medio) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é medio-muito) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é mediomuito)

32. Se (ConstantinoBairro é medio) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é muito)

33. Se (ConstantinoBairro é mediomuito) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é pouco)

34. Se (ConstantinoBairro é mediomuito) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é medio)

35. Se (ConstantinoBairro é mediomuito) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é mediomuito) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é mediomuito)

36. Se (ConstantinoBairro é mediomuito) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é muito)

37. Se (ConstantinoBairro é mediomuito) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é pouco)

38. Se (ConstantinoBairro é mediomuito) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é medio)

39. Se (ConstantinoBairro é mediomuito) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é mediomuito) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é mediomuito)

40. Se (ConstantinoBairro é mediomuito) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é muito)

41. Se (ConstantinoBairro é mediomuito) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é pouco)

42. Se (ConstantinoBairro é mediomuito) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é medio)

43. Se (ConstantinoBairro é mediomuito) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é mediomuito) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é mediomuito)

44. Se (ConstantinoBairro é mediomuito) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é muito)

45. Se (ConstantinoBairro é mediomuito) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é pouco)
46. Se (ConstantinoBairro é mediomuito) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é medio)
47. Se (ConstantinoBairro é mediomuito) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é mediomuito) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é mediomuito)
48. Se (ConstantinoBairro é mediomuito) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é muito)
49. Se (ConstantinoBairro é muito) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é pouco)
50. Se (ConstantinoBairro é muito) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é medio)
51. Se (ConstantinoBairro é muito) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é mediomuito) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é mediomuito)
52. Se (ConstantinoBairro é muito) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é muito)
53. Se (ConstantinoBairro é muito) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é pouco)
54. Se (ConstantinoBairro é muito) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é medio)
55. Se (ConstantinoBairro é muito) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é mediomuito) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é mediomuito)
56. Se (ConstantinoBairro é muito) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é muito)
57. Se (ConstantinoBairro é muito) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é pouco)
58. Se (ConstantinoBairro é muito) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é medio)
59. Se (ConstantinoBairro é muito) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é mediomuito) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é mediomuito)
60. Se (ConstantinoBairro é muito) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é muito)
61. Se (ConstantinoBairro é muito) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é pouco)
62. Se (ConstantinoBairro é muito) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é medio)

63. Se (ConstantinoBairro é muito) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é mediomuito) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é mediomuito)
64. Se (ConstantinoBairro é muito) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é muito)
65. Se (ConstantinoCentro é pouco) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é pouco)
66. Se (ConstantinoCentro é pouco) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é medio)
67. Se (ConstantinoCentro é pouco) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é mediomuito) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é mediomuito)
68. Se (ConstantinoCentro é pouco) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é muito)
69. Se (ConstantinoCentro é pouco) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é pouco)
70. Se (ConstantinoCentro é pouco) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é medio)
71. Se (ConstantinoCentro é pouco) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é mediomuito) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é mediomuito)
72. Se (ConstantinoCentro é pouco) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é muito)
73. Se (ConstantinoCentro é pouco) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é pouco)
74. Se (ConstantinoCentro é pouco) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é medio)
75. Se (ConstantinoCentro é pouco) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é mediomuito) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é mediomuito)
76. Se (ConstantinoCentro é pouco) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é muito)
77. Se (ConstantinoCentro é pouco) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é pouco)
78. Se (ConstantinoCentro é pouco) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é medio)
79. Se (ConstantinoCentro é pouco) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é mediomuito) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é mediomuito)
80. Se (ConstantinoCentro é pouco) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é muito)
81. Se (ConstantinoCentro é medio) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é pouco)

82. Se (ConstantinoCentro é medio) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é medio)
83. Se (ConstantinoCentro é medio) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é medio-muito) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é mediomuito)
84. Se (ConstantinoCentro é medio) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é muito)
85. Se (ConstantinoCentro é medio) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é pouco)
86. Se (ConstantinoCentro é medio) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é medio)
87. Se (ConstantinoCentro é medio) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é medio-muito) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é mediomuito)
88. Se (ConstantinoCentro é medio) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é muito)
89. Se (ConstantinoCentro é medio) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é pouco)
90. Se (ConstantinoCentro é medio) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é medio)
91. Se (ConstantinoCentro é medio) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é mediomuito) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é mediomuito)
92. Se (ConstantinoCentro é medio) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é muito)
93. Se (ConstantinoCentro é medio) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é pouco)
94. Se (ConstantinoCentro é medio) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é medio)
95. Se (ConstantinoCentro é medio) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é medio-muito) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é mediomuito)
96. Se (ConstantinoCentro é medio) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é muito)
97. Se (ConstantinoCentro é mediomuito) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é pouco)
98. Se (ConstantinoCentro é mediomuito) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é medio)
99. Se (ConstantinoCentro é mediomuito) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é mediomuito) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é mediomuito)

100. Se (ConstantinoCentro é mediomuito) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é muito)
101. Se (ConstantinoCentro é mediomuito) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é pouco)
102. Se (ConstantinoCentro é mediomuito) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é medio)
103. Se (ConstantinoCentro é mediomuito) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é mediomuito) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é mediomuito)
104. Se (ConstantinoCentro é mediomuito) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é muito)
105. Se (ConstantinoCentro é mediomuito) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é pouco)
106. Se (ConstantinoCentro é mediomuito) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é medio)
107. Se (ConstantinoCentro é mediomuito) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é mediomuito) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é mediomuito)
108. Se (ConstantinoCentro é mediomuito) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é muito)
109. Se (ConstantinoCentro é mediomuito) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é pouco)
110. Se (ConstantinoCentro é mediomuito) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é medio)
111. Se (ConstantinoCentro é mediomuito) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é mediomuito) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é mediomuito)
112. Se (ConstantinoCentro é mediomuito) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é muito)
113. Se (ConstantinoCentro é muito) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é pouco) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é pouco)
114. Se (ConstantinoCentro é muito) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é medio)
115. Se (ConstantinoCentro é muito) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairro é mediomuito) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é mediomuito)

116. Se (ConstantinoCentro é muito) e (PedroDjalma é pouco) e (Pedrobairroé muito) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é pouco)(tempociclo3 é muito)

117. Se (ConstantinoCentro é muito) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairroé pouco) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é pouco)

118. Se (ConstantinoCentro é muito) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairroé medio) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é medio)

119. Se (ConstantinoCentro é muito) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairroé medio-muito) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é mediomuito)

120. Se (ConstantinoCentro é muito) e (PedroDjalma é medio) e (Pedrobairroé muito) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é medio)(tempociclo3 é muito)

121. Se (ConstantinoCentro é muito) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairroé pouco) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é pouco)

122. Se (ConstantinoCentro é muito) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairroé medio) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é medio)

123. Se (ConstantinoCentro é muito) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairroé mediomuito) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é mediomuito)

124. Se (ConstantinoCentro é muito) e (PedroDjalma é mediomuito) e (Pedrobairroé muito) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é mediomuito)(tempociclo3 é muito)

125. Se (ConstantinoCentro é muito) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairroé pouco) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é pouco)

126. Se (ConstantinoCentro é muito) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é medio) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é medio)

127. Se (ConstantinoCentro é muito) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é mediomuito) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é mediomuito)

128. Se (ConstantinoCentro é muito) e (PedroDjalma é muito) e (Pedrobairro é muito) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é muito)(tempociclo3 é muito)

## Apêndice C – REGRAS DO CONTROLADOR DO SEMÁFORO DO CRUZAMENTO ENTRE A AV. PEDRO TEIXEIRA E AV. DJALMA BATISTA

Para o entendimento das regras abaixo, são necessárias as seguintes informações:

- djalmacentro: é a quantidade de veículos que estão parados no semáforo na Av. Djalma Batista no sentido centro.
- djalmabentro: é a quantidade de veículos que estão parados no semáforo na Av. Djalma Batista no sentido bairro.

1. Se (djalmabairro é pouco) e (djalmacentro é pouco) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é pouco) (1)
2. Se (djalmabairro é pouco) e (djalmacentro é medio) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é medio) (1)
3. Se (djalmabairro é pouco) e (djalmacentro é mediomuito) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é mediomuito) (1)
4. Se (djalmabairro é pouco) e (djalmacentro é muito) então (tempociclo1 é pouco)(tempociclo2 é muito) (1)
5. Se (djalmabairro é medio) e (djalmacentro é pouco) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é pouco) (1)
6. Se (djalmabairro é medio) e (djalmacentro é medio) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é medio) (1)
7. Se (djalmabairro é medio) e (djalmacentro é mediomuito) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é mediomuito) (1)
8. Se (djalmabairro é medio) e (djalmacentro é muito) então (tempociclo1 é medio)(tempociclo2 é muito) (1)
9. Se (djalmabairro é mediomuito) e (djalmacentro é pouco) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é pouco) (1)
10. Se (djalmabairro é mediomuito) e (djalmacentro é medio) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é medio) (1)
11. Se (djalmabairro é mediomuito) e (djalmacentro é mediomuito) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é mediomuito) (1)
12. Se (djalmabairro é mediomuito) e (djalmacentro é muito) então (tempociclo1 é mediomuito)(tempociclo2 é muito) (1)
13. Se (djalmabairro é muito) e (djalmacentro é pouco) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é pouco) (1)

14. Se (djalmabairro é muito) e (djalmacentro é medio) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é medio) (1)

15. Se (djalmabairro é muito) e (djalmacentro é mediomuito) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é mediomuito) (1)

16. Se (djalmabairro é muito) e (djalmacentro é muito) então (tempociclo1 é muito)(tempociclo2 é muito) (1)