



## **Avaliação de proposta de implantação de onda verde em uma malha viária de Manaus utilizando SUMO**

**Jhordan O. V. Dias** – jhordan.dias@gmail.com

**Moisés P. Bastos** – moises\_bastos@hotmail.com

**Kattylinne M. Barbosa** - eng.kattylinne@gmail.com

Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas

Av. Djalma Batista, 3578, Flores

CEP 69050-010 – Manaus - Amazonas

***Resumo:** Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho da coordenação semafórica proposta para a Avenida Mario Ypiranga Monteiro na cidade de Manaus utilizando o software de simulação de trânsito SUMO. A avenida possui um fluxo de veículos muito elevado e a intervenção proposta pelo projeto visa melhorar o trânsito na região por meio da implantação da onda verde. A malha viária foi montada no simulador e com os dados fornecidos pelo Instituto Municipal de Engenharia e Fiscalização do Trânsito, foram feitas uma série de simulações até encontrar os parâmetros adequados. Foi feita uma análise qualitativa e quantitativa para avaliar o desempenho da coordenação semafórica proposta.*

***Palavras-chave:** Coordenação semafórica, simulação de trânsito, SUMO, fluxo de veículos, onda verde.*

### **1. INTRODUÇÃO**

Ao longo dos anos, com o aumento populacional e popularização do carro como meio de transporte acarretaram uma série de problemas comuns em todas as grandes cidades como por exemplo poluição, logística, excesso de veículos e conseqüentemente congestionamentos. E esses problemas só vêm piorando, pois o número de veículos aumenta a cada dia enquanto que estratégias de trânsito e infraestrutura viária não sofrem grandes alterações (CRUZ, 2011).

A cidade de Manaus, capital do estado do Amazonas, não é diferente, os investimentos em infraestrutura viária não acompanham o crescimento da frota de veículos. Um estudo realizado em 2011 pela Secretaria de Estado de Planejamento e Desenvolvimento Econômico (Seplan) revela que as perdas geradas com as contínuas retenções no tráfego da cidade equivalem a um custo de R\$ 530 milhões/ano, considerando variáveis como o tempo gasto no congestionamento, custos de oportunidade de mão-de-obra e custos financeiros (Governo do Amazonas, 2011). Os congestionamentos afetam também a qualidade de vida da população pois causa atraso no deslocamento das pessoas, estresse e desconforto por horas, contribui para a poluição do ar devido ao consumo excessivo de combustível, além da poluição sonora causada pela buzina dos veículos.

Uma das principais causas de congestionamento que vem sendo alvo de estudo com o objetivo de melhorar o fluxo de veículos é a programação semafórica. Com uma melhor administração nos tempos de verde e vermelho é possível maximizar a quantidade de veículos



que trafegam por uma via com interseções semaforizada (CRUZ, 2011). Com o objetivo de reduzir os congestionamentos foi desenvolvido na Alemanha um mecanismo chamado Onda Verde, onde os semáforos de uma via com um gargalo muito grande de veículos sejam sincronizados baseados na distância percorrida e velocidade sugerida para o cruzamento da via, de modo que ao se aproximar do cruzamento seguinte o sinal abra, permitindo que os veículos façam grande parte do percurso sem parar (OLIVEIRA, 2014).

A eficiência do planejamento e gerenciamento do tráfego exige o uso de ferramentas computacionais que possam simular a viabilidade de medidas que provoquem impacto no trânsito, de forma adequada e consistente. Dessa forma é possível corrigir e otimizar propostas de intervenção no tráfego sem a necessidade de implementação física, o que evitaria transtornos e gastos de se implantar medidas não testadas (CYBIS, 2002).

O estudo apresentado neste trabalho faz parte de um programa denominado PAIC (Projeto de Apoio à Iniciação Científica) da UEA (Universidade do Estado do Amazonas) juntamente com a FAPEAM (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas) com o tema: Desenvolvimento e implementação de um sistema automatizado de semáforos em uma malha viária de Manaus. O projeto possui o objetivo de desenvolver um sistema de controle semafórico de tempo fixo para uma determinada malha viária de Manaus com base no estudo realizado por Tommaso (2014).

## **2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA**

### **2.1. Sinalização Semafórica**

A sinalização semafórica tem por finalidade transmitir aos usuários a informação sobre o direito de passagem em interseções e/ou seções de via onde o espaço viário é disputado por dois ou mais movimentos conflitantes, ou advertir sobre a presença de situações na via que possam comprometer a segurança dos usuários (DENATRAN, 2012).

Conceitos básicos segundo o Manual Brasileiro de Sinalização Semafórica:

- Movimentos: usado para identificar o fluxo de veículos que têm a mesma origem e mesmo destino, e/ou o fluxo de pedestres que se deslocam na mesma direção.
- Estágio: é o intervalo de tempo em que um ou mais movimentos recebem simultaneamente o direito de passagem.
- Entreverde: É o intervalo de tempo compreendido entre o final do verde de um estágio e o início do verde do estágio subsequente.
- Vermelho geral: É o intervalo de tempo entre o final do amarelo de um estágio e o início do verde do próximo estágio.
- Ciclo: é a sequência completa dos estágios de uma sinalização semafórica.
- Defasagem (Offset): é a diferença de tempo entre o início da fase verde de cruzamento e o início da fase de verde do cruzamento subsequente.

### **2.2. Onda verde**

A onda verde é uma técnica de coordenação semafórica que visa reduzir o número de paradas e o tempo perdido para percorrer via arterial que possui interseções semaforizadas consecutivas. Nessa técnica, um pelotão de veículos se movimenta ao longo da via arterial com velocidade constante sem parar em nenhum sinal vermelho. Para que isso ocorra, é necessário definir alguns parâmetros como o ciclo, o tempo de verde de cada aproximação e, principalmente a defasagem entre os semáforos. Para uma boa coordenação dos semáforos o



tempo de ciclo de cada um deles deve ser exatamente o mesmo ou múltiplos entre si (LOPES, 2010).

Na onda verde há a maximização da banda de passagem, onde ocorre os ajustes dos tempos de abertura de cada semáforo de forma a permitir a passagem de um pelotão por toda a via com uma certa velocidade de progressão, desse modo há a redução do tempo de viagem, evita a formação de filas ou retardando o aumento delas, redução do número de acidentes e a imprudência dos condutores (ALMEIDA, 2007).

Um dos métodos mais conhecidos para coordenar semáforos é a elaboração manual de um diagrama espaço-tempo, em que as defasagens são definidas graficamente através de tentativa e erro (ALMEIDA, 2007). A vantagem deste método é a possibilidade de visualizar graficamente o esquema de coordenação. Se esse método for combinado com uma boa modelagem do tráfego, para que se possa simular eficientemente o seu comportamento, é possível de obter uma excelente coordenação semafórica.

### 2.3. Sumo

O SUMO (*Simulator of Urban Mobility*) é um software de simulação *free, opensource*, desenvolvido em C++ pelo Instituto de Pesquisas em Transporte do Centro Aeroespacial Alemão (DLR) em parceria com Centro de Informática Aplicada de Colônia. O simulador foi criado com o objetivo de ser uma plataforma para testes de novos produtos e soluções aplicada à modelagem de trânsito e tem grande aceitação na comunidade de simulação microscópica e mesoscópica de engenharia de tráfego (CRUZ, 2011).

Por ser utilizado para fins de pesquisa, o SUMO segue três princípios básicos: pouco consumo de memória, facilidade em estender a aplicação e velocidade nas simulações. A sua utilização se dá através de linhas de comando, a instalação do programa, a configuração da malha viária e de outros parâmetros de simulação utilizam essas linhas de comando. A entrada e saída de dados ocorrem diretamente por arquivos XML. O software foi dividido em várias partes, cada uma com uma função e são executadas separadamente, de modo que o usuário passe por diversas etapas até a simulação final. (CRUZ, 2011). Por esses motivos o SUMO foi o simulador escolhido para o projeto.

Para criar a malha viária que será utilizada na simulação é necessário declarar as informações em arquivos XML, e com a ferramenta NETCONVERT que acompanha o software, é gerado um outro arquivo XML que contém todas as informações necessárias para iniciar a simulação. Os arquivos são separados de acordo com as informações que possuem, neste projeto foram utilizados os seguintes arquivos:

- *Nodes*: São definidos todos os pontos e interseções que a malha viária possui, além de definir quais interseções são semaforizadas.
- *Edges*: São definidas as arestas que ligam os pontos, eles correspondem as vias em um único sentido.
- *Types*: São definidos os tipos de vias possíveis, com o número de faixas e a velocidade máxima.
- *Connection*: São definidas as conexões entre as vias que se deseja ter, pois em princípio são permitidas todas as conversões possíveis.
- *Traffic Light Logic*: São definidas as fases, duração de cada fase e defasagem de todos os semáforos que se deseja utilizar na simulação, pois já é gerada uma programação semafórica padrão.



- *Routes*: São definidos os tipos de veículos com as suas configurações, como aceleração, velocidade máxima e cor, as rotas possíveis obedecendo os sentidos das vias, além do fluxo de veículos com o número de veículos por hora.

### 3. METODOLOGIA

Para a implantação da onda verde foi considerada uma malha viária que possui um grande congestionamento devido ao alto fluxo de veículos e a presença de interseções semaforizadas. Em seguida foi feito o levantamento e revisão bibliográfica sobre controle semafórico e simulação de trânsito, e com as conclusões obtidas nos estudos pôde se escolher a estratégia utilizada para a onda verde. Foi montada a malha viária no software e foram feitas inúmeras simulações para avaliar o comportamento da mesma, sendo então encontrados os valores adequados para os parâmetros da onda verde.

#### 3.1. Malha viária

A malha viária escolhida foi da Avenida Mário Ypiranga Monteiro, no bairro Adrianópolis, na zona Centro-Sul de Manaus, pois é uma via de grande importância para o deslocamento urbano da cidade. A Avenida possui uma extensão total de aproximadamente 5 km sendo uma das principais ligações entre as zonas Centro-Sul e Sul de Manaus, passando por vários bairros até chegar ao centro da cidade. Com isso inúmeras vias convergem o seu fluxo de veículos para a via supracitada, além de conter um dos principais *shoppings* e o maior pronto socorro da capital amazonense. O trecho de aproximadamente 1 km mostrado na figura 1 é o trecho de maior gargalo, pois possui cinco interseções semaforizadas:

1. Cruzamento da Avenida Mário Ypiranga com a Rua Salvador.
2. Cruzamento da Avenida Mário Ypiranga com a Rua Fortaleza.
3. Cruzamento da Avenida Mário Ypiranga com a Rua Terezina.
4. Cruzamento da Avenida Mário Ypiranga com a Rua São Luiz.
5. Cruzamento da Avenida Mário Ypiranga com a Rua Professor Marciano Armond.

Figura 1 – Cruzamentos Semaforizados da Avenida Mário Ypiranga.



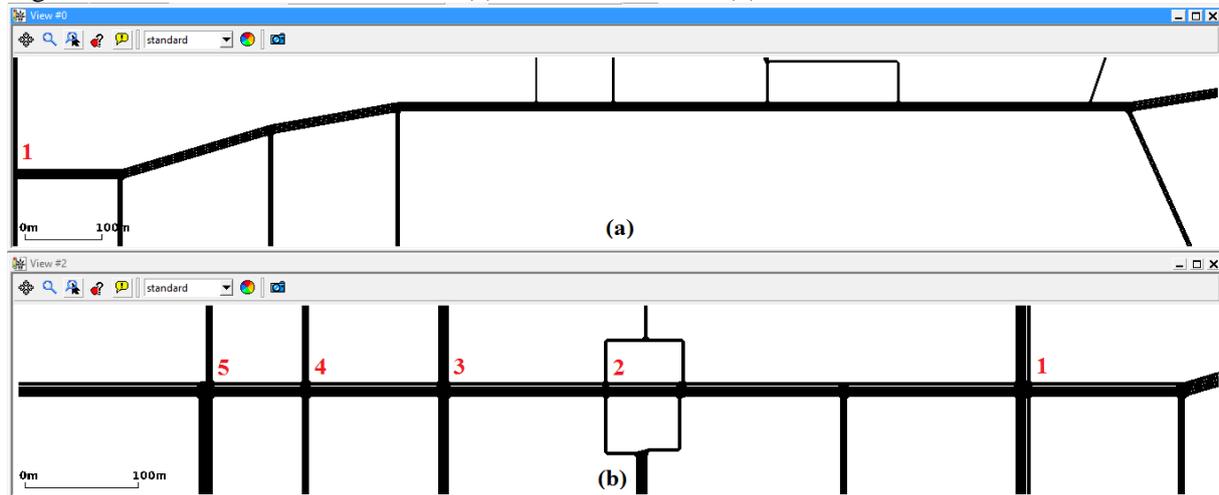
Para realizar o controle semafórico da malha viária é necessário conhecer seu comportamento e funcionamento atual. Foram então solicitados os dados do fluxo de veículos dos cruzamentos do trecho em estudo ao Instituto Municipal de Engenharia e Fiscalização do Trânsito (Manaustrans) que forneceu os dados dos cruzamentos 1 e 5, realizados em 2013 e 2015, respectivamente. Foi feito então o cálculo para estimar o fluxo de veículos para o ano de 2016 e os valores foram inseridos no arquivo *Routes* do SUMO.



### 3.2. Simulação

Para melhor visualização do comportamento da malha e o tamanho da fila de veículos, foi desenhado no SUMO um trecho de 2,5 km que inclui os cinco cruzamentos semaforizados. A figura 2 mostra como ficou a malha viária no simulador.

Figura 2 – Malha viária no simulador: (a) trecho estendido e (b) trecho com os cinco cruzamentos.



Foram feitas simulações para duas situações possíveis: a primeira consiste em utilizar os tempos levantados por (OLIVEIRA, 2014) que corresponde a programação semafórica utilizada na via na época e que foi considerada como atual para o projeto e a segunda consiste na onda verde proposta no projeto. A tabela 1 apresenta os tempos utilizados na simulação da via e as defasagens que foram determinadas de forma a tornar mais próxima da realidade, pois não foi possível realizar o levantamento das defasagens.

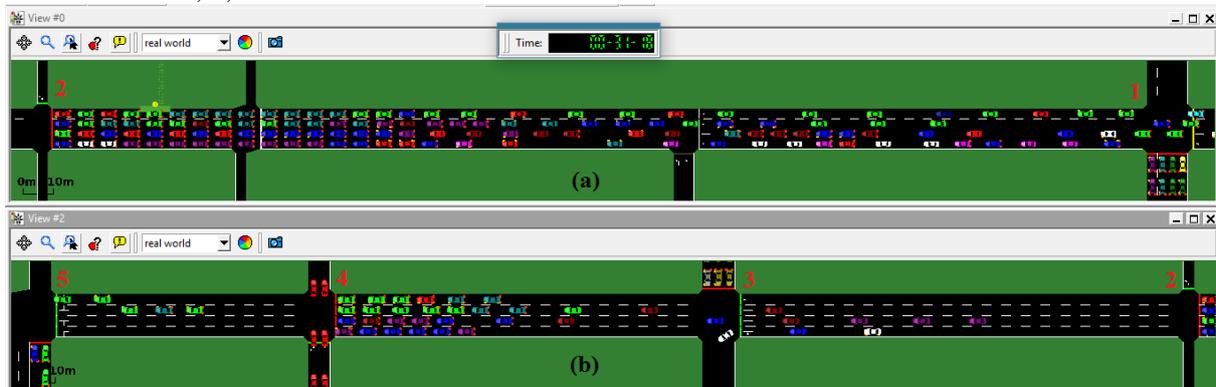
Tabela 1 – Tempos e defasagens para a simulação da via atual.

Cruzamento	Via	Tempo de verde (s)	Defasagem (s)
1	Avenida Mario Ypiranga	43	35
	Rua Salvador	47	
2	Avenida Mario Ypiranga	60	0
	Rua Fortaleza	30	
3	Avenida Mario Ypiranga	60	25
	Rua Terezina	30	
4	Avenida Mario Ypiranga	60	10
	São Luiz	30	
5	Avenida Mario Ypiranga	60	30
	Rua Marciano Armond	30	

A figura 3 mostra a simulação do trecho de 1 km especificado na subseção 3.1 com os cinco cruzamentos semaforizados para os tempos atuais passados 30 minutos do seu início.

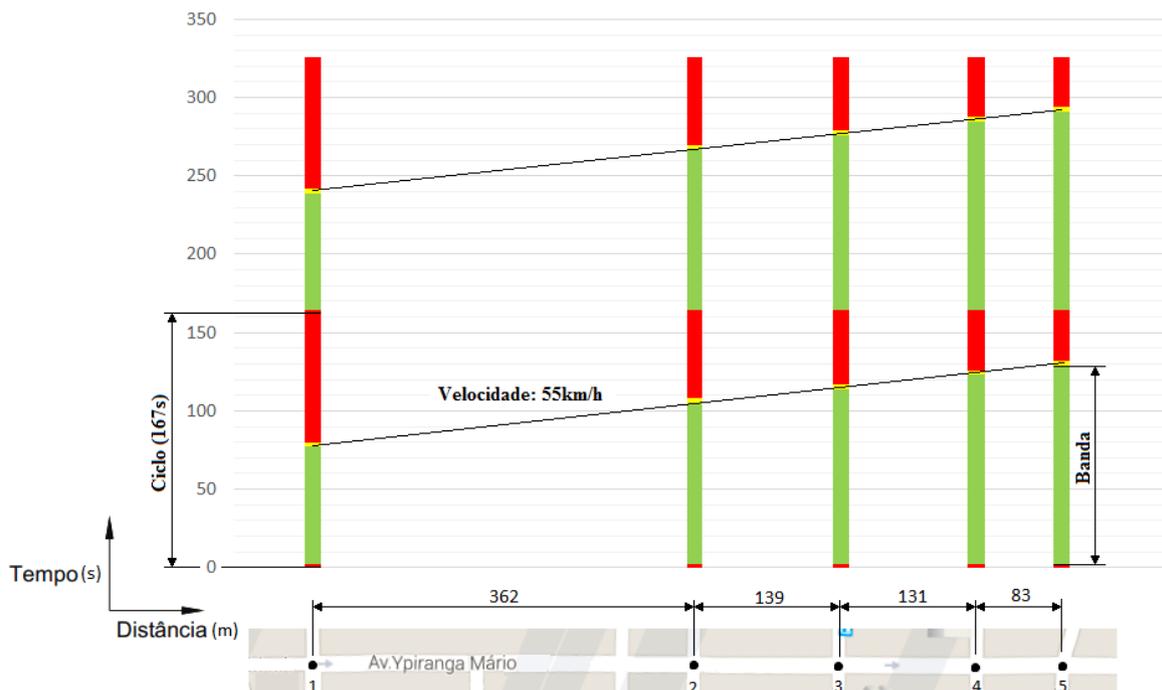


Figura 3 – Simulação da malha viária para os tempos atuais: (a) Cruzamentos 1 e 2 e (b) cruzamentos 2, 3, 4 e 5.



Para onda verde proposta foram definidos alguns parâmetros, sendo o primeiro deles a velocidade de progressão. Pelo fato de a avenida ser uma via coletora, a sua velocidade máxima é de 60 km/h, mas como não podemos utilizar a velocidade máxima para evitar que alguns condutores ultrapassem esse limite, foi definida uma velocidade de progressão de 55 km/h ou 15,28 m/s. Em seguida foram definidas as defasagens, todos os 5 semáforos abrem na Avenida Mario Ypiranga no mesmo instante, mas o fechamento segue uma sequência de modo que os pelotões de veículos possam passar pelos cruzamentos sem parar, os tempos foram calculados com base na distância entre cada cruzamento. Por último foram definidos os tempos de verde para a Mario Ypiranga no cruzamento 1 e para a Rua Marciano Armond, todos os outros tempos de verde são calculados com base na defasagem. Além disso os tempos de amarelo e vermelho geral são de 3 e 2 segundos, respectivamente. A figura 4 mostra o diagrama de espaço-tempo para a onda verde proposta, o tempo de ciclo é de 167 segundos e largura da banda é variável.

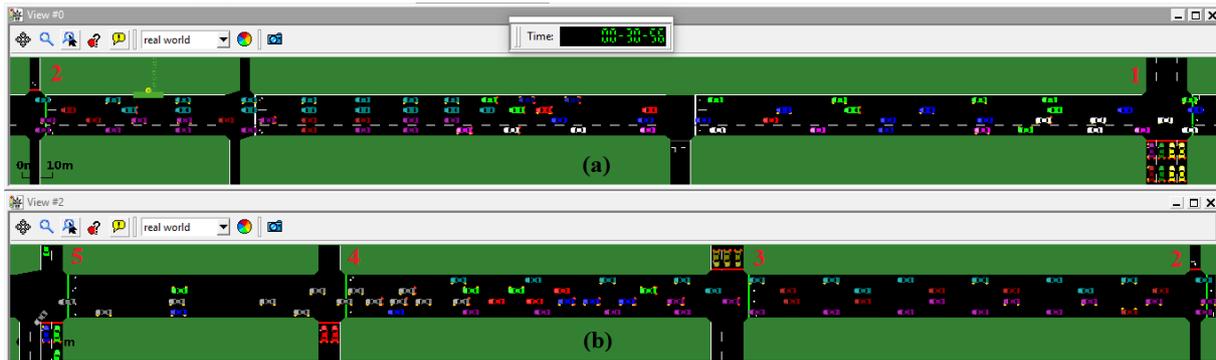
Figura 4 – Diagrama espaço-tempo para a onda verde proposta.





A figura 5 mostra a simulação da coordenação semafórica proposta passados 30 minutos de seu início, na figura pode-se perceber a onda verde em funcionamento com os cinco semáforos abertos para a Avenida Mario Ypiranga e os pelotões de veículos se movendo sem parar em alguma interseção.

Figura 5 – Simulação da malha viária para a onda verde proposta: (a) Cruzamentos 1 e 2 e (b) cruzamentos 2, 3, 4 e 5.



#### 4. RESULTADOS OBTIDOS

Durante a simulação pode-se notar duas diferenças que mostram o desempenho de cada uma das duas situações. A primeira diferença foi no trecho de 1 km em que estão os cinco cruzamentos semaforizados. Para os tempos atuais os pelotões de veículos não conseguem percorrer o trecho todo sem paradas causando maiores transtornos para os condutores que trafegam por ali (figura 3), enquanto que para a coordenação semafórica proposta os pelotões de veículos conseguem passar por todo o trecho com velocidade aproximadamente constante e sem parar em nenhum dos cruzamentos (figura 5).

Com o decorrer da simulação foi sendo formada uma fila antes do primeiro cruzamento e a mesma ia aumentando mais rápido para a situação dos tempos atuais, preenchendo toda a extensão da via em pouco mais de 35 minutos, enquanto que para a onda verde proposta o tempo de lotação foi de 56 minutos. As figuras 6 e 7 mostram o tempo de lotação para cada uma das duas situações citadas, respectivamente.

Figura 6 – Tempo de lotação para os tempos atuais.

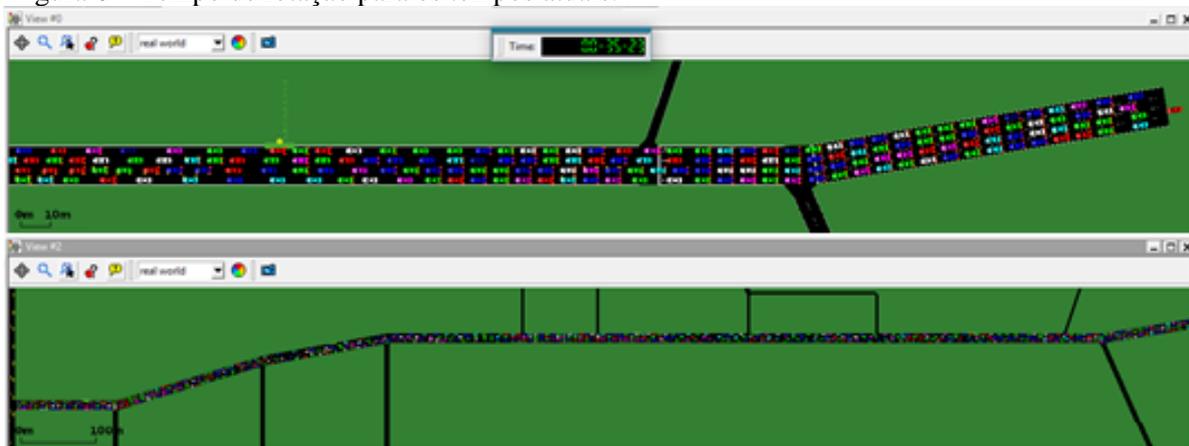
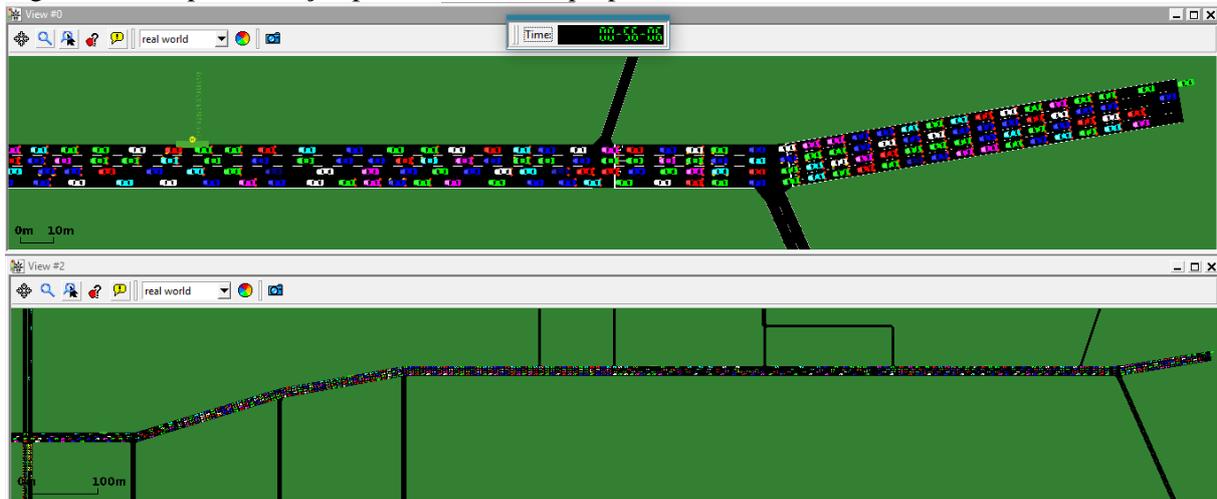


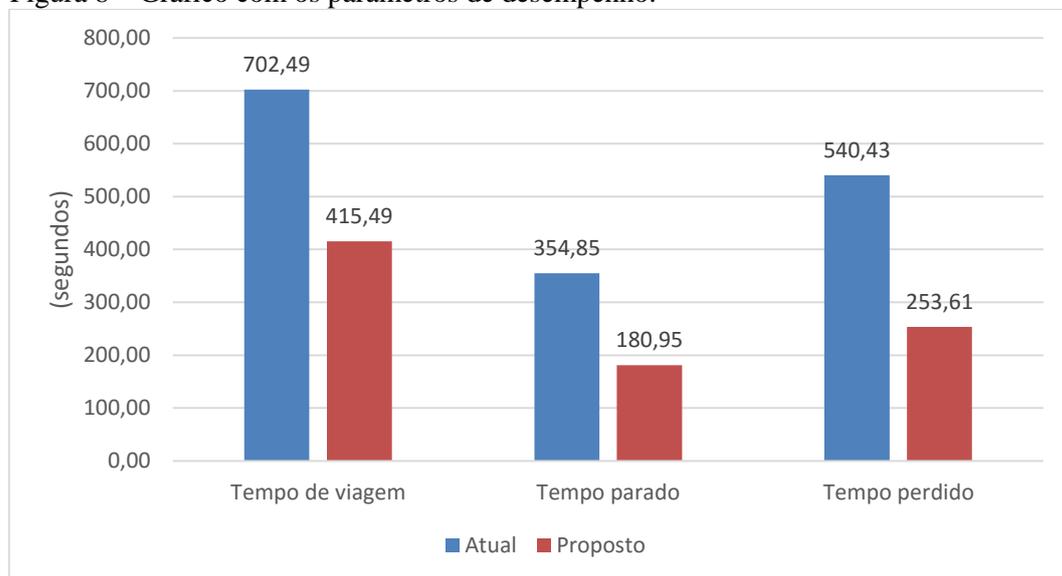


Figura 7 – Tempo de lotação para a onda verde proposta.



O SUMO pode salvar em XML arquivos com inúmeros parâmetros referentes à simulação. Um desses arquivos, o *tripinfo*, que possui as informações da **jornada** de cada veículo gerado na simulação, foi exportado para o Microsoft Excel. Os parâmetros usados para avaliar o desempenho da malha viária para cada situação foi o tempo de viagem, o tempo parado e o tempo perdido de todos os carros do fluxo 1 que percorre toda a extensão da Avenida Mario Ypiranga durante uma hora. A figura 8 apresenta o gráfico em barra com os parâmetros de desempenho de cada situação.

Figura 8 – Gráfico com os parâmetros de desempenho.



Analisando os valores mostrados na figura 8 pode-se perceber a melhora no desempenho da malha viária ao se utilizar a onda verde proposta, pois houve uma redução de 40,8% no tempo de viagem, de 49% no tempo parado e de 55,4% no tempo perdido. Além disso foi feito o cálculo da velocidade média no percurso para as duas situações e foram encontrados os valores de 12,67 km/h para o atual e 21,42 km/h para a onda verde, um aumento de 69%.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho possibilitou avaliar o desempenho da proposta de implantação de coordenação semafórica para a Avenida Mario Ypiranga Monteiro na cidade de Manaus, que tem como objetivo melhorar o fluxo de veículos naquela via que possui grande importância para a deslocamento urbano. A onda verde mostrou-se bastante eficiente obtendo uma melhora considerável no desempenho da malha viária, com a redução do tempo de viagem e o número de paradas, podendo reduzir não apenas o tempo perdido para quem trafega naquela região como também possibilita o a redução do consumo de combustível e o desgaste do sistema de frenagem dos veículos.

## 6. SUGESTÕES FUTURAS

Na continuidade do projeto pretende-se avaliar o desempenho do controle semafórico atuado pelo tráfego com sensores de laço indutivo para variar os tempos de verde de acordo com o fluxo de veículos que varia ao longo do dia, além de permitir a contagem e a classificação de veículos para melhorar planejamento em futuras intervenções na via. Além do estudo será feito um protótipo para os órgãos competentes de trânsito e testes em campo para validação do projeto.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem à Manaustrans por fornecer os dados necessários para o projeto e à Universidade do Estado do Amazonas junto com a FAPEAM que por meio do Programa de Apoio a Iniciação Científica permite os alunos desenvolverem projetos de pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. F. M.; MENESES, H. B. Avaliação da progressão semafórica em tempo real nos períodos de média e alta demanda de tráfego: Estudo de caso. Anais: XVI Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito, Maceió: ANTP, 2007.
- CRUZ, W. UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE, Faculdade de Computação e Informática. Aplicação de Algoritmos Genéticos em Semáforos Inteligentes. Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2011. 115p, il. Trabalho de conclusão de curso.
- CYBIS, H. B. B.; LINDAU, L. A.; ARAUJO, D. R. C. Implantação de um modelo de simulação e alocação de tráfego em Porto Alegre. Revista dos Transportes Públicos – ANTP, São Paulo, v.1, n.95, p. 41-54, 2002.
- DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito. Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito Volume V- Sinalização Semafórica. 3ª Edição. Brasília: DENATRAN, 2012.
- GARBER, N; HOEL, L. Traffic And Highway Engineering. 4ª ed. Toronto, ON: Cengage Learning, 2009.
- GOVERNO DO AMAZONAS. Custo com congestionamento em Manaus é de R\$ 530 milhões/ano. Manaus, 23 maio 2011. Disponível em: <<http://www.amazonas.am.gov.br/2011/05/custo-com-congestionamento-em-manau-der-530-milhesano/>>. Acesso em: 5 de junho de 2016.
- HEINEN, M. R. et al. Controle Inteligente de Semáforos Utilizando Redes Neurais Artificiais com Funções de Base Radial. Universidade Federal do Pampa, 2013.
- LOPES, L C. F. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COPPE. Método de Otimização das Defasagens de Corredores, 2010. 140p, il. Dissertação (Mestrado).



OLIVEIRA, W. D. T. Proposta de semáforos inteligentes usando estratégias de controle TUC para um conjunto de cruzamentos subsequentes da cidade de Manaus. Universidade do Estado do Amazonas, 2014.

TREVIZAN, R. L.; BARBOSA, K. M. Análise de propostas de intervenções no tráfego em duas principais vias da cidade de Manaus utilizando o software Vissim. Anais: II Conselho Brasileiro de Engenharia da Mobilidade. Joinville: UFSC, 2015.

## **EVALUATION OF PROPOSED DEPLOYMENT OF GREEN WAVE IN A ROAD NETWORK OF MANAUS USING SUMO**

**Abstract:** *This paper aims to evaluate the performance of the traffic signal coordination proposed for Mario Ypiranga Monteiro Avenue in the city of Manaus using the traffic simulation software SUMO. The avenue has a very high flow of vehicles and the intervention proposed by the Project aims to improve the traffic in the region through the implementation of green wave. The road network was assembled in the simulator and the data provided by the Municipal Institute of Engineering and Inspection of Traffic, a series of simulations were made to find the appropriate parameters. A qualitative and quantitative analysis was made to evaluate the performance of the traffic signal coordination proposed.*

**Key-words:** *traffic signal coordination, traffic simulation, SUMO, traffic flow, green wave.*