

# Modelagem de um Sistema de Tráfego

**Mikhail Yasha Ramalho Gadelha**  
**Heitor Carlos Rodrigues Repolho**  
**Nathan Rodrigues de Almeida**  
**Evandro Texeira Picanço Júnior**

Engenharia da Computação – Universidade Federal do Amazonas (UFAM)  
Manaus – Am – Brasil

<http://sistema-de-trafego.wikispaces.com/>  
[mikhail.ramalho@gmail.com](mailto:mikhail.ramalho@gmail.com)  
[htr.carlos@gmail.com](mailto:htr.carlos@gmail.com)  
[pronathan@gmail.com](mailto:pronathan@gmail.com)  
[expectpin@hotmail.com](mailto:expectpin@hotmail.com)

**Resumo.** *Com o crescimento do país, o sistema de tráfego está ficando cada vez mais saturado com o número de carros. E graças ao desenvolvimento tecnológico que vem ocorrendo nos últimos anos, hoje é possível adquirir dados suficientes para uma abordagem eficiente para o problema do tráfego. Em busca de uma contribuição tecnológica, este trabalho visa estudar e aprimorar o conceito de modelagem e análise de sistemas de controle semafóricos. Inicialmente são apresentados conceitos básicos de modelagem, depois será abordado o problema específico dos semáforos do sistema de trânsito, e por fim apresentaremos um estudo sobre uma possível modelagem de um semáforo de trânsito.*

**Abstract.** *As the country grows, traffic system is becoming more and more saturated by the number of cars. Due to technological development that is happening in the late years, nowadays is possible to acquire enough dates to find an efficient approach to the traffic issue. The present work intends to study and improve the concept of semaphoric control system analysis and modeling. Initially we present some basic concepts of traffic modelling, next we tackle the traffic semaphore problem, and finally we present a study for a possible modelling of a traffic light system.*

## 1. Introdução

Um dos grandes problemas enfrentados hoje nas grandes metrópoles é o transporte urbano eficiente. Várias soluções foram propostas, tais como metrô, vias expressas, entre outros, porém o problema ainda continua. Uma das possíveis causas seriam os semáforos de trânsito não sincronizados e uma das possíveis soluções seria um tratamento eficiente para tais semáforos.

Este artigo tenta modelar o sistema de trânsito, utilizando teoria de filas para simular a chegada, permanência e saída de carros dos semáforos. Serão utilizados conceitos estatísticos para analisar os melhores tempos para cada semáforo ficar aberto tanto pra carros quando para pedestres. A modelagem é feita utilizando-se Rede de Petri temporizada, pois é a que se melhor se adéqua a situação pois é possível configurar os tempos.

Na seção 2 serão tratados conceitos básicos de modelagem, na Seção 3 serão mostrados e comentados alguns trabalhos correlatos, na Seção 4 é mostrada a metodologia empregada, na Seção 5 é feita a modelagem dos semáforos utilizando Grafos e Redes de Petri, e por fim, a conclusão na Seção 6.

## **2. Fundamentação Teórica**

Os Sistemas de Modelagem de Tráfego urbano são úteis para simular com a máxima veracidade possível um problema real como é o caso da ineficiência do sistema de tráfego urbano de uma cidade. Essa modelagem baseia-se nos fundamentos de Inteligência Artificial, Autômatos e algoritmos sofisticados que tratam da sinalização para um resultado mais eficiente para o problema.

A idéia de se usar Inteligência Artificial aparece como uma opção para criar um sistema o mais autônomo possível. Além de eliminar a necessidade de criar uma central que controlasse a região do sistema com problema, facilita a manipulação e o desenvolvimento de soluções. Os Autômatos são de grande importância para a modelagem de um sistema de tráfego, pois com eles será possível implementar e testar a estrutura de um determinado ponto do sistema através de ferramentas, como softwares que simulam autômatos. Entre os autômatos, os finitos, máquinas de Mealy e Moore são de grande importância.

Os algoritmos de aprimoramento constituem desafios para este projeto, pois neles estão a implementação, por exemplo, da solução de cruzamentos parados, vias cruzadas, e rotas alternativas. Muitas dessas técnicas estão incluídas na idéia de simulação de eventos discretos, e é esse conceito que este projeto tomará como base, buscando a fundamentação teórica na base de sistemas de eventos discretos.

## **3. Trabalhos Correlatos**

O primeiro artigo escrito por Drummond & Basbaum (2006) inicia fazendo uma comparação entre os grandes sistemas de tráfego urbano, comparando o grande sistema americano com o padrão europeu. Os americanos acreditam no sistema onde cada vez mais e

mais carros são lançados as ruas, e através de pistas de alta velocidade, grandes e largas estradas, o trânsito pode fluir, sem haver qualquer preocupação com outros fatores como a poluição causada pela enorme quantidade de veículos e eminente possibilidade de colapso do sistema devido ao excesso de carros.

Como bem comentam Drummond & Basbaum, a grande vantagem do sistema europeu é devido ao seu planejamento. Esse sistema baseia-se na utilização do transporte público trens, metrô, ônibus, dando ênfase às políticas que incentivam o uso do transporte coletivo.

Ainda nos comentários de Drummond & Basbaum fica esclarecido que o modelo europeu, por ser mais bem planejado, tem uma maior utilização para simulações do comportamento de tráfego urbano, sendo que a partir disso seguem as teorias. O uso dos conceitos de redes neurais ligados a Inteligência Artificial aparecem devido às redes neurais possuírem a característica de aprenderem, por isso a grande relevância dos autores no uso de redes neurais e redes neuro-fuzzy.

O estudo de caso do comportamento de duas abordagens para o controle e aperfeiçoamento do sistema de tráfego em subáreas de uma rede viária é o que propõem Loureiro, Gomes & Pires (2002). O objetivo principal dos autores é analisar alguns pontos semaforizados integrantes do sistema de tráfego urbano na cidade de Fortaleza/CE utilizando duas modelagens distintas, uma baseada na implementação de tempo fixo e outra fundada no controle adaptativo em tempo real, originado do sistema SCOOT (2002), uma aplicação líder no controle adaptativo de sistemas de tráfego urbano.

Uma das características comuns aos sistemas atualmente existentes está no funcionamento de tempo fixo, onde os sistemas operam de forma isolada ou coordenada, em grupos de interseções, as chamadas subáreas. Esses sistemas necessitam de planos pré-programados com base em dados históricos médios para determinar os tempos.

Loureiro, Gomes & Pires dissertam que o modelo de controle adaptativo atua ao mesmo tempo em que o evento esta ocorrendo, coletando os dados na via através de medidores veiculares e adaptando os semáforos para aperfeiçoar o fluxo de veículos baseado na análise em tempo real dos dados.

Ainda no que diz respeito às abordagens em tempo fixo e em tempo real, Loureiro, Gomes & Pires explicam o conceito de “seleção dinâmica” compreendido entre o de tempo fixo e tempo real. Neste modelo, são elaborados mapas de diferentes configurações dos semáforos, um para cada situação, como maior fluxo em uma

determinada via por exemplo. A escolha do mapa adequado é feita a partir de uma amostra de 15 a 20 minutos da quantidade de carros passando pelas vias. A partir daí é escolhido o mapa que aperfeiçoe a situação atual.

Propaga-se a maior eficiência no sistema de controle de tempo real, mas pouco estudo foi feito para comprovar essa teoria. Na America do Norte alguns estudos feitos recentemente mostram que, em horários de pico, planos fixos bem atualizados produzem resultados tão bons quanto aos dos planos de tempo real.

Um software com a capacidade de analisar e gerar dados sobre o comportamento de uma interseção semaforizada, ajudando o projetista a ter o conhecimento necessário para criar uma modelagem do problema que aperfeiçoe seu resultado, este é o objetivo que propõe Leite & Alves (2004), mostrar os meios necessários para criar uma aplicação que realize essa tarefa.

Conhecimentos na área de Engenharia de Software, paradigma de Orientação a Objeto e Sistema de Evento Discreto são alguns dos requisitos necessários para a implementação de um software dessa natureza.

Os autores informam que esta ferramenta deve receber do usuário dados referentes as interseções da área semaforizada, como veículos e posição da sinalização.

A partir disso, Leite & Alves (2004) elabora a codificação com auxilio de ferramentas de Engenharia de Software e realiza os testes para que a aplicação se adéqüe o máximo possível a realidade.

## **4. Metodologia**

Para a modelagem de um sistema de tráfego, foram escolhidos os sinais de trânsito do cruzamento da saída do Amazonas Shopping com a Avenida Darcy Vargas, que no total são 5 sinais de trânsito, da cidade de Manaus-AM, como visto na figura 1. Em cada semáforo, foi medido o fluxo passante de carros para que houvesse um tratamento estatístico usando a teoria de filas.

A contagem dos carros foi feita visualmente com dez amostras, em três horários diferentes para cada semáforo. A primeira contagem foi realizada às 10 h, a segunda foi feita às 17 h e a última às 21 h.

Para um processo de melhoria contínua, poderia ser implementado um microcontrolador de processamento de imagens para que fosse possível que os tempos de cada semáforo pudessem ser adaptados automaticamente para um maior ou menor fluxo de carros.



**Figura 1: Foto aérea do local dos semáforos (Google Earth)**

## 5. Modelagem

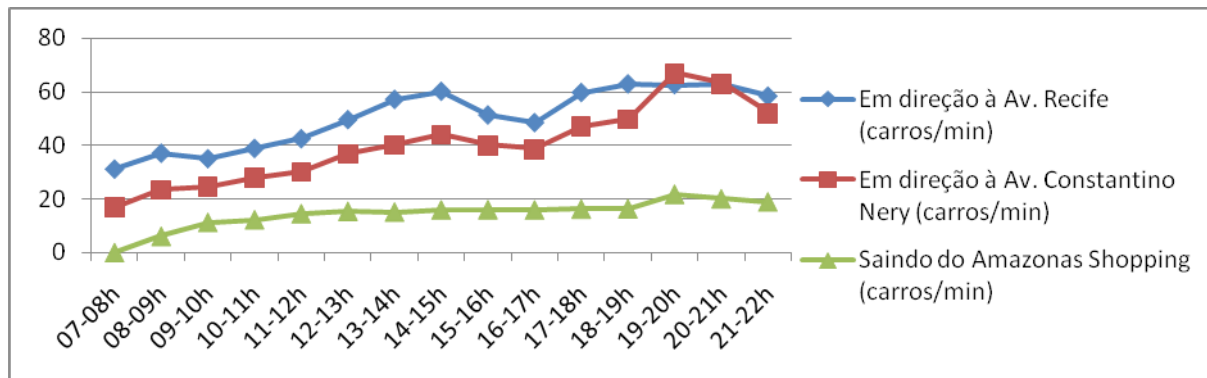
Antes da modelagem do sistema de tráfego foi feito um estudo do fluxo de carro passante para que fosse calculado o tempo necessário para que não houvesse engarrafamento em nenhuma via, em nenhum horário do dia. Segue abaixo a tabela do fluxo de carros passantes, medida em carros por minuto. Com auxílio da figura 1, a coluna “Em direção à Av. Recife” refere-se a carros indo na direção leste, “Em direção à Av. Constantino Nery” refere-se a carros indo na direção oeste e “Saindo do Amazonas Shopping” refere-se a carros que estão saindo do Amazonas Shopping através do semáforo 5 e podem ir tanto na direção oeste quanto na direção leste.

**Tabela 1: Fluxo passante de carros na Rua Darcy Vargas por minuto.**

Horários	Em direção à Av. Recife (carros/min)	Em direção à Av. Constantino Nery (carros/min)	Saindo do Amazonas Shopping (carros/min)
07-08 h	31,27	17,0	0
08-09 h	37,2	23,5	6,11
09-10 h	35,13	24,7	11,33
10-11 h	39,0	28,1	12,33
11-12 h	42,6	30,2	14,59

12-13 h	49,7	37,0	15,48
13-14 h	57,25	40,3	15,21
14-15 h	60,25	44,08	16,0
15-16 h	51,45	40,11	16,1
16-17 h	48,6	38,7	16,0
17-18 h	59,81	47,2	16,3
18-19 h	63,0	50,0	16,45
19-20 h	62,75	67,0	21,88
20-21 h	63,0	63,0	20,19
21-22 h	58,45	52,0	19,0

Os dados coletados são referentes à média de no mínimo três amostras, durante dias úteis da semana, nos meses de Setembro, Outubro e Novembro. Os valores medidos durante finais de semana estão próximos do ideal. Abaixo o gráfico gerado pelas amostras, durante os dias medidos.



**Figura 2: Gráfico do fluxo passante.**

A partir desses resultados, foi utilizada a Teoria de Filas para os cálculos de tempo médio de carros esperando o semáforo ficar verde, intervalo entre chegada de carros, número médio de carros esperando o semáforo ficar verde. A partir desses dados foi feito um estudo para qual seria o melhor valor para o tempo dos sinais para que o congestionamento das vias seja minimizado.

Com esse resultado foi possível fazer a modelagem dos sinais sincronizados que minimizam ao máximo o congestionamento da via.

Para a modelagem foram consideradas duas situações:

1. Durante o horário de 23:00 às 8:00, o semáforo que libera a passagem de carros do shopping está desativado e os outros quatro semáforos estão em estado intermitente, ou seja, os sinais ficam piscando em amarelo.
2. Nos outros horários, os cinco semáforos ficam em funcionamento.

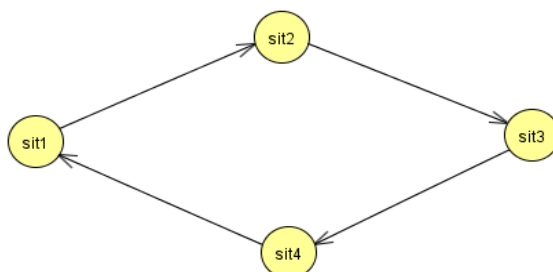
## 5.1. Situações da Modelagem

Para simplificação podemos considerar situações, onde cada situação simboliza um estado em que semáforos estão abertos ou apagados, ao final das situações, a situação inicial volta a ser executada.

**Tabela 2: Situações possíveis, “X” significam que o semáforo está aberto.**

Situações	Semáforo 1	Semáforo 2	Semáforo 3	Semáforo 4	Semáforo 5
Situação 1	X	X	X	X	
Situação 2	X			X	X
Situação 3					X
Situação 4		X	X		

Abaixo podemos o grafo das situações:



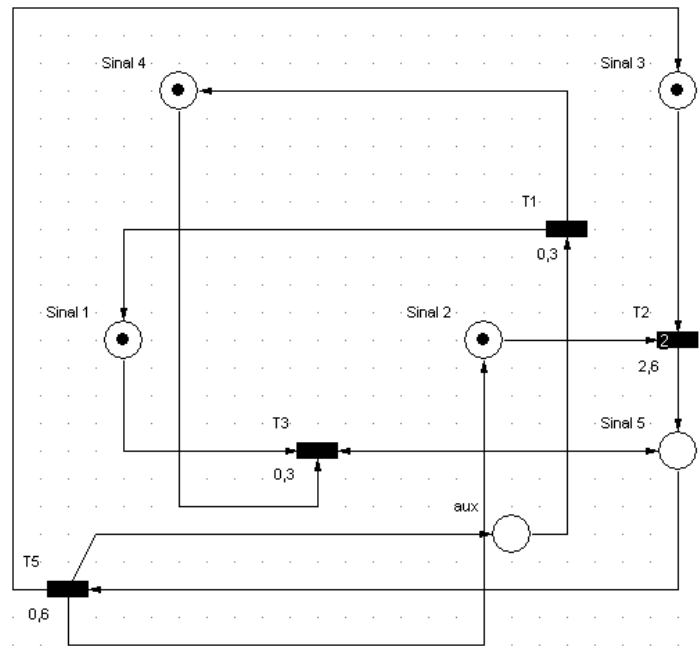
**Figura 4: Grafo da Modelagem**

Como podemos ver no grafo acima, as situações são cíclicas, ou seja, ao término da última situação, o ciclo inicia novamente. Abaixo a tabela do tempo em que cada semáforo estará ativo.

**Tabela 3: Tempo total dos semáforos abertos ou fechados.**

Situação	Tempo
Sit0	1m20s
Sit1	10s
Sit2	20s
Sit3	10s

Foi feita uma modelagem utilizando Rede de Petri extendida. A extensão da Rede de Petri utilizada foi a RdP T-temporizada segundo Marranghello (2005), ou seja, o tempo é associado à transição, habilitando-a quando esse tempo for atingido. Considera-se também que quando existe um *token* no *place*, o semáforo encontra-se aberto, caso contrário ele encontra-se fechado. Considera-se também que o tempo levado para um *token* ir de um *place* a outro, o tempo onde o semáforo fica amarelo e, em seguida, vermelho, a modelagem segue na figura 3.



**Figura 3: Modelagem do Sistema de Tráfego**

A modelagem inicia com os *places* 1, 2, 3 e 4. A única transição possível de ser ativada é a T2, porém existe um atraso de 1m20s que é o tempo em que os semáforos ficarão abertos. Após essa transição ser ativada, *tokens* sairão dos semáforos 2 e 3 e irão para o semáforo 5.

A próxima transição a ser ativada é a T4, que somente será habilitada após um *delay* de 10s, tempo onde os semáforos 1, 4 e 5 ficarão abertos. Após esse tempo, serão enviados *tokens* dos *places* 1 e 4 para o *place* 5. Em seguida, a única transição que poderá ser ativada é T4.

A transição T4 tem um *delay* de 20s, onde somente T5 estará ativado. Por fim, serão enviados *tokens* para os *places* 2 e 3, que ficarão ativos durante 10s e o processo irá recommençar. Ao total, os semáforos 1, 2, 3 e 4 estarão ativos durante 1m30s, semáforo 5 ficará ativo durante 30s e os pedestres terão 30s para atravessar nos semáforos 1 e 4.

## 6. Conclusão

O artigo propôs a solução de um problema atual da cidade de Manaus. Segundo o estudo feito, os valores e a modelagem do sincronismo dos semáforos apresentados são os que minimizam ao máximo o problema do congestionamento da Rua Darcy Vargas. A implementação do projeto proposto é simples, bastando apenas a reprogramação dos semáforos para melhorar o sincronismo e o tempo em que eles ficam abertos e fechados.



No método utilizado para a obtenção de dados foi necessário a presença humana, que facilmente poderia ser substituída por sensores que iriam fazer leituras freqüentes de dados. Partindo desse pressuposto, poderia ser implementado um algoritmo de melhoria contínua, que faria leitura de dados freqüentes para que os sinais se reprogramassem para se ajustar a uma situação qualquer, porém sua implementação não é trivial.

## 7. Referências Bibliográficas

1. DRUMMOND, Adrianna & BASBAUM, Arthur Luiz Ribeiro. **PROPOSTA PARA SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO INTELIGENTE COM ADOÇÃO DE SENSORES E IA.** Disponível em: <> Acesso em: 18 março 2009.
2. LOUREIRO, Carlos Felipe Grangeiro, GOMES, Marcos José Timbó Lima, PIRES, Leandro Carlos Henrique. **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO NOS PERÍODOS DE PICO DO TRÁFEGO DE INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS COM CONTROLE CENTRALIZADO EM TEMPO FIXO E REAL.** Disponível em: <[www.sinaldetransito.com.br/artigos/scoot.pdf](http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/scoot.pdf)> Acesso em: 18 março 2009.
3. SCOOT. **URBAN TRAFFIC CONTROL WEBSITE.** Disponível em: <<http://www.scoot-utc.com>>. Acesso em: 18 março 2009.
4. LEITE, Gledisson Fryttys Menezes, ALVES, Antônio César Baleeiro. **IMPLEMENTANDO UM SIMULADOR DE TRÁFEGO URBANO PARA UMA INTERSEÇÃO COM SEMÁFOROS.** Disponível em: <[http://wsmartins.net/ermacs/trabalho\\_18.pdf](http://wsmartins.net/ermacs/trabalho_18.pdf)> Acesso em: 18 março 2009.
5. MARRANGHELLO, Norian. **REDES DE PETRI: CONCEITOS E APLICAÇÕES.** Disponível em: <[www.dcce.ibilce.unesp.br/~norian/cursos/mds/ApostilaRdP-CA.pdf](http://www.dcce.ibilce.unesp.br/~norian/cursos/mds/ApostilaRdP-CA.pdf)>. Acesso em: 18 março 2009.