

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO  
CURSO DE CIÊNCIAS MOLECULARES

PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
CICLO AVANÇADO

TURMA: 18

SEMESTRE: 2º / ANO:2010

ALUNO: Rafael Lemes Beirigo  
nº USP: 6481760  
E-MAIL DO ALUNO [rafaelbeirigo@usp.br](mailto:rafaelbeirigo@usp.br)

TÍTULO DO PROJETO: Regulação do fluxo em vias urbanas e metabólicas - uma abordagem interdisciplinar para a otimização da configuração semafórica

PROF. ORIENTADOR : Saulo Rabello Maciel de Barros  
E-MAIL DO ORIENTADOR: [saulo@ime.usp.br](mailto:saulo@ime.usp.br)  
UNIDADE: Instituto de Matemática e Estatística  
DEPTO: Matemática Aplicada  
FONE: 3091-6245

PROFA. CO-ORIENTADORA : Marie-Anne Van Sluys  
E-MAIL DA CO-ORIENTADORA: [mavsluys@usp.br](mailto:mavsluys@usp.br)  
UNIDADE: Instituto de Biociências  
DEPTO: Botânica  
FONE: 3091-7548

# Regulação do fluxo em vias urbanas e metabólicas

Uma abordagem interdisciplinar para a otimização da configuração semafórica

## Introdução

A mobilidade é um aspecto crucial e intrínseco da civilização humana, de tal forma que a preocupação com a manutenção de uma infraestrutura adequada seja uma constante. Entretanto, o rápido incremento na população desencadeia um aumento da demanda por utilização de meios de transporte, cuja infraestrutura possui capacidade limitada. Quando essa capacidade é superada pela demanda, surgem os problemas de congestionamento.

Melhorias nas condições de tráfego podem levar a diminuições no tempo total de viagem, e, por consequência, no consumo de combustível e emissões de poluentes atmosféricos, além de um aumento na segurança dos que utilizam o sistema de transporte. Devido ao impacto ambiental e às limitações dos recursos físicos e econômicos, a expansão contínua da infraestrutura de transportes não se apresenta como a melhor alternativa de adaptação para a crescente necessidade de mobilidade e transporte, tornando necessário o desenvolvimento de estratégias de melhoria no fluxo da malha disponível.

Dentre essas estratégias, encontra-se o controle de tráfego pela utilização de semáforos, cuja primeira utilização data de 1868 (Pietrantonio et al., 2007), e que, com o aproveitamento do crescente avanço da tecnologia computacional, tende a agregar cada vez maior eficiência.

No desenvolvimento de sistemas de controle semafórico são utilizadas três categorias de modelos (Shvetsov, 2003): de predição, simulação e otimização de fluxo, em que se estuda a tradução de elementos do tráfego para as linguagens matemática e computacional. Essa tradução é importante para que as operações relacionadas ao processo de determinação da configuração mais adequada à situação do tráfego possam ser realizadas pelo computador e o plano de configuração semafórica seja obtido.

A modelagem matemática e computacional do fluxo de veículos é baseada em elementos de tráfego, como veículos, pedestres e vias, que são traduzidos em grandezas numéricas, para depois compor um modelo que será analisado pelo computador. Entretanto, a modelagem computacional poderia ser aplicada a outros elementos, bastando para isso estabelecer um conjunto de regras que reflita adequadamente as relações entre esses elementos. Para modelar um sistema complexo cujas relações entre seus elementos não esteja completamente elucidada, pode-se basear em um outro sistema que possua características semelhantes.

Em um estudo recente acerca do estabelecimento da rede ferroviária Tokyo (Marwan, 2010), foi demonstrado que *Physarum polycephalum*, um plasmódio unicelular multinucleado que cresce continuamente enquanto houver alimento disponível, configurou uma rede de ocupação do ambiente muito próxima daquela estabelecida para essa rede ferroviária, ao se conectar às fontes de alimento aí presentes. Esse resultado sugere uma potencial utilização desse organismo como fonte de inspiração para o estudo de estratégias de distribuição e logística de transportes.

Uma qualidade marcante dos sistemas biológicos é a auto-otimização adaptativa que

ocorre no curso da evolução biológica. Como esse processo ocorre em uma escala de tempo da ordem de milhões de anos (Marwan, 2010), é de se esperar uma elevada eficiência no organismo resultante desse processo de seleção/adaptação. Essa característica parece estar presente nas vias metabólicas, dada a sua ubiquidade e conservação, sugerindo que essa estratégia biológica de controle de fluxo possua significativa importância.

As vias metabólicas associam uma cadeia de enzimas e substratos/produtos em um contexto biológico, fornecendo a informação dos possíveis destinos para o substrato em cada estágio do ciclo, ou seja, fornecem um mapeamento do fluxo de substratos/produtos. A velocidade desse fluxo depende dos fatores que regulam as atividades enzimáticas, analogamente ao que ocorre no tráfego de veículos, onde a velocidade do fluxo é determinada pelos elementos controladores de tráfego. Dessa forma, assim como a configuração semafórica atua diretamente sobre a velocidade do fluxo dos veículos aí presentes, as condições dos elementos da via metabólica, como pH e temperatura, para as enzimas, ou ainda a presença/ausência de um dos elementos determina a velocidade com que ocorrem as transformações químicas dos substratos aí presentes, ou seja, determina a velocidade da própria via.

Os sistemas de controle semafórico podem ser divididos em duas categorias (Papageorgiou et al., 2003), relacionadas à estratégia de que se utilizam para responder à demanda de fluxo: de tempo-fixo e atuados pelo tráfego. A diferença entre eles está basicamente na informação utilizada para configurar o semáforo: os sistemas de tempo-fixo utilizam uma tabela que contém um plano de configuração semafórica fixo que foi estabelecido com base na observação histórica do fluxo naquela via e os sistemas atuados pelo tráfego obtêm informações sobre o fluxo atual das vias e elabora um plano de configuração que melhor se adequa ao momento presente.

Como a informação utilizada na estratégia de tempo-fixo pode não refletir necessariamente as demandas de fluxo, devido ao elevado dinamismo com que se modificam, os sistemas atuados pelo tráfego podem apresentar resultados mais adequados às condições de tráfego. Dessa forma, busca-se o desenvolvimento dos modelos atuados pelo tráfego, dentre os quais podem ser citados SCOOT (Hunt et al., 1982), OPAC (Gartner, 1983), PROLYN (Farges et al., 1983), CRONOS (Boillot et al., 1992) e RHODES (Sen et al., 1997), que freqüentemente servem de base para novas estratégias que utilizam sistemas mistos ou mesmo agregam novas funcionalidades a esses sistemas.

## **Objetivo**

O objetivo do presente projeto é o estudo dos modelos atuais de configuração semafórica atuados pelo tráfego nos seus aspectos de modelagem computacional e matemática e dos elementos e mecanismos de regulação de vias metabólicas, buscando responder à seguinte pergunta: *como o conhecimento dos mecanismos de regulação do fluxo de substratos em vias metabólicas poderia auxiliar na elaboração de sistemas computacionais de regulação do fluxo de veículos na rede viária?*

## **Plano de Trabalho, Materiais e Métodos e Forma de Análise dos Resultados**

Aliados a pesquisas na literatura a respeito dos sistemas de controle de tráfego e

mecanismos de regulação de vias metabólicas, serão realizados trabalhos de abordagem computacional desses assuntos. Com a utilização do software DimReduction (Lopes, 2006), serão acrescentados dados de metabólitos a um conjunto de redes de regulação de expressão gênica. Para que esse trabalho possa ser realizado, serão necessários trabalhos de pesquisa na literatura e análise do contexto e significado biológico de dados obtidos estatisticamente. Com a realização dessa atividade, que é de interface disciplinar, o aluno pretende um desenvolvimento na habilidade de diálogo entre as disciplinas envolvidas.

Para que estratégias de controle semafórico possam ser analisadas e testadas, será implementada uma plataforma de simulação de condições de tráfego, onde se pretende a utilização do programa de código aberto MITSIMlab (Yang et al., 1996), com a realização de programação adicional que eventualmente se mostre necessária.

Para que os estados de vias metabólicas e tráfego de veículos possam ser comparados, serão estudadas formas de tradução desses estados para grafos, uma linguagem que permite a elaboração de algoritmos com relativa facilidade, além de permitir a conversão entre estados de vias metabólicas e de tráfego de veículos. Será também necessário a elaboração de um dicionário que estabeleça as relações entre os elementos de tráfego e os elementos de uma via metabólica. Deverão ser consideradas as vias principais e vias secundárias em ambos os contextos.

Dessa forma, pretende-se a realização do presente projeto através do aprofundamento teórico dos sistemas biológicos e de tráfego, a tradução destes para uma linguagem computacional e a manipulação dos dados através de programas adequados, comparando os resultados obtidos com os já existentes.

Segue abaixo um cronograma de realização das atividades mencionadas acima:

<b>Atividade/Semestre</b>	<b>1º</b>	<b>2º</b>	<b>3º</b>	<b>4º</b>
Implementação da plataforma de simulação de tráfego de veículos com a utilização do MITSIMlab	X	X		
Introdução da informação de metabólitos com a utilização do sistema DimReduction	X	X	X	X
Estabelecer metodologia de tradução de estados de tráfego e vias metabólicas para grafos	X			
Estudo dos sistemas de controle de tráfego viário e metabólico	X	X		
Estudo da aplicabilidade de estratégias de controle de vias metabólicas no tráfego de veículos	X	X	X	X
Implementação de estratégias de controle semafórico			X	X

Tabela 1. Cronograma de realização de atividades

## Disciplinas

### 1º Semestre

MAT0234 Análise Matemática I

MAC0414 Linguagens Formais e Autômatos

### 2º Semestre

MAT0334 Análise Matemática II

MAC0328 Algoritmos em Grafos

MAC0430 Algoritmos e Complexidade de Computação

### 3º Semestre

MAP0316 Equações Diferenciais II

MAC0315 Programação Linear

### 4º Semestre

MAC0327 Desafios de Programação

MAP0413 Equações de Derivadas Parciais

MAC0325 Otimização Combinatória

MAC0444 Sistemas Baseados em Conhecimento

## Referências

1. Boillot, F., J. M. Blossville, et al. (1992). "OPTIMAL SIGNAL CONTROL OF URBAN TRAFFIC NETWORKS." Sixth International Conference on Road Traffic Monitoring and Control **355**: 75-79.
2. Farges, H. J. J., Farges, J. L., Tufal, J. (1983), "The PRODYN real time traffic algorithm." Proc. of the IFAC Symposium.
3. Gartner, N. H. (1983), "OPAC: A Demand-Responsive Strategy for Tramic Signal Control." U.S. Dept. Transp., Washington, DC, Transp. Tes. Record 906. TRB, Washington, D.C., pp. 75-81.
4. Hunt, P.B., D.I. Robertson, R.D. Bretherton, and M.C. Rogle (1982). "The SCOOT On-Line Traffic Signal Optimization Technique." Traffic Engineering and Control, pp. 190-199.
5. Li, Y. F. and I. C. Soc (2009). Modeling and Solution for Traffic Network Signal Optimization. Los Alamitos, Ieee Computer Soc.
6. Lopes, F. M., Martins JR, D. C., Cesar JR, R. M., (2006), "DimReduction - Interactive Graphic Environment for Dimensionality Reduction".
7. Marwan, W. (2010). "Amoeba-Inspired Network Design." Science **327**(5964): 419-420.
8. Papageorgiou, M., C. Diakaki, et al. (2003). "Review of road traffic control strategies." Proceedings of the Ieee **91**(12): 2043-2067.
9. Pietrantonio, H. and Bonetti, W. (2007). Sistemas Atuados pelo Tráfego. Universidade

de São Paulo, Escola Politécnica, Laboratório de Estudos Metodológicos em Tráfego e Transportes

10. Sen, S. and K. L. Head (1997). "Controlled optimization of phases at an intersection." Transportation Science **31**(1): 5-17.
11. Shvetsov, V. I. (2003). "Mathematical modeling of traffic flows." Automation and Remote Control **64**(11): 1651-1689.
12. Yang, Q. and Koutsopoulos, H. (1996). "A microscopic simulator for evaluations of dynamic traffic management systems." Transp. Res.-C, 4(3), 113–129.