

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

**RELATÓRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**  
**CICLO AVANÇADO**  
**TURMA 18**

CCM0318 INICIAÇÃO À PESQUISA I  
2º SEMESTRE / ANO: 2010

ALUNO: Rafael Lemes Beirigo  
Nº USP 6481760  
E-MAIL DO ALUNO rafaelbeirigo@gmail.com

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  
FONE: 3091-6245  
UNIDADE: Instituto de Matemática e Estatística  
DEPTO: Matemática Aplicada

PROF. ORIENTADOR : Marie-Anne Van Sluys  
E-MAIL DO ORIENTADOR: mavsluys@ib.usp.br  
FONE: 3091-8063  
UNIDADE: Instituto de Biociências

DEPTO: Botânica

## **Objetivo**

O presente projeto objetiva responder à seguinte pergunta: *como o conhecimento dos mecanismos de regulação do fluxo metabólico em células poderia auxiliar na elaboração de sistemas computacionais de regulação do fluxo de veículos na rede viária?*

## **Estratégias de controle da configuração semafórica**

### **Aspectos teóricos**

A atividade consistiu de consulta à literatura existente, com priorização dos sistemas de regulação de fluxo de rede viária em aplicação.

Inicialmente procedeu-se ao estudo da linguagem pertinente ao campo e estratégias de modelagem matemática e computacional utilizadas (Pietrantonio, 2003; Hounsell, 2009, Shvetsov 2003), seguido do estudo de sistemas de otimização semafórica.

O sistema RHODES (Mirchandani, 2001) foi analisado quanto às suas características e abordagem do problema de otimização. A hierarquização da estrutura física realizada no estágio de planejamento do algoritmo apresenta-se como uma excelente alternativa para a abstração dos elementos, pois é feita uma separação de elementos do tráfego baseada na velocidade de variação dos mesmos: lenta (estrutura física das vias e escolha da alternativa de roteiro para uma determinada viagem), média (estimativa de ocupação das vias) e rápida (duração do tempo de verde de um determinado semáforo). Esse conceito pôde ser utilizado posteriormente para a modelagem computacional realizada no projeto, quando foi útil e necessário que os elementos de tráfego fossem individualizados e relacionados.

RHODES utiliza o conceito de programação dinâmica, que permite o aproveitamento de uma solução ótima previamente calculada. Essa técnica é especialmente aplicável no caso de controladores semafóricos dado que os padrões de tráfego apresentam uma relativa periodicidade.

Além disso, no sistema em questão foi implementada a utilização de métodos de predição de fluxo. Esses métodos utilizam a informação conjunta dos detectores, estado de tráfego e de planejamento dos tempos semafóricos nas intersecções adjacentes para prever o instante de chegada e quantidade de veículos. Essa informação, juntamente com as estatísticas de conversões relacionadas à intersecção (quantidade probabilística de virar à direita, esquerda ou seguir em frente, para o exemplo de uma intersecção simples), é utilizada para decidir pelo plano semafórico no processo de otimização.

A aquisição dos conceitos elencados acima foram de grande auxílio quando do desenvolvimento do modelo do presente projeto. A característica de responsividade, imprescindível para um sistema de controle de fluxo dinâmico como o tráfego de veículos, auxiliada pela técnica de programação dinâmica, que permite uma maior flexibilidade nos algoritmos de controle e os métodos de predição permitiram uma abstração e posterior relação dos elementos utilizados no modelo em desenvolvimento.

Foi realizado um estudo do sistema de controle semafórico atualmente em operação na cidade de São Paulo, SCOOT (Ming, 1997). O sistema possui um controle realizado em tempo real, onde sua configuração é determinada em função da variação do fluxo de tráfego, medido

com o auxílio de laços detectores localizados no pavimento. O sistema utiliza essa informação em seu algoritmo de otimização, onde ocorre uma extensão ou redução do tempo de verde do semáforo, visando à minimização da saturação das vias presentes na intersecção.

A configuração obtida no processo de otimização é utilizada nas posteriores iterações do sistema, de acordo com a mesma estratégia mencionada acima, que é baseada na ocorrência de repetições dos padrões de tráfego.

O gerenciamento do tráfego urbano foi analisado quanto às novas tecnologias e o impacto causado por elas (Hounsell, 2009). Juntamente com as tecnologias baseadas em infraestrutura, como os laços detectores, sistemas de priorização do tráfego de transporte público e câmeras de vídeo, despontam as tecnologias embarcadas nos veículos, com destaque para a utilização do sistema de posicionamento global (Global Positioning System - GPS).

Juntamente com a identificação do veículo, a informação de GPS pode ser utilizada para priorização de determinados veículos quando da escolha da configuração semafórica. Assim, caso o sistema detecte a presença de um ônibus público na intersecção, ele pode modificar a configuração semafórica de forma a dar prioridade de fluxo para esse veículo. Dessa maneira, a estratégia passa a ser baseada não somente na quantidade de veículos presentes na intersecção, mas também o fluxo de pessoas, pois o ônibus possui uma capacidade de transporte de passageiros significativamente maior que a de um veículo de passeio, por exemplo.

Além disso, a informação de posicionamento pode ser utilizada para determinar as condições de tráfego na vias (Yoon, 2007). Para esse fim, utiliza-se a variação temporal da posição dos veículos presentes na via, e os dados são analisados para classificação do fluxo com o auxílio de técnicas de *clustering*, onde dados são classificados de acordo com um algoritmo de agrupamento que leva em conta a distribuição dos pontos e sua proximidade relativa.

A aplicação da referida técnica foi importante para discriminar as situações de tráfego, dado que a análise da malha viária quanto à velocidade do fluxo pode apresentar uma grande quantidade de valores que, apesar de diferentes, são muito próximos entre si, dificultando a tarefa de classificação.

Foi realizado um estudo da utilização do MITSIMLab (Yang, 1996) para a implementação de estratégias de controle semafórico baseadas na priorização de fluxo de ônibus (Davol, 2001). O trabalho relata inicialmente a implementação genérica de uma estratégia de controle semafórico com a utilização do referido simulador, seguida de um detalhamento da estratégia desenvolvida pelo grupo, finalizando com um estudo de caso da implementação de seu projeto na cidade de Estocolmo. Essa leitura consistiu em uma atividade determinante na escolha do sistema para o presente projeto, pois confirmou a expectativa de que o sistema é adequado a ele, além de auxiliar no aprendizado sobre as capacidades e formas de utilização do mesmo.

O estudo das técnicas relatadas permitiu uma aproximação inicial do campo de estudo, com a aquisição da linguagem necessária ao desenvolvimento do projeto. Adicionalmente, a análise das diversas abordagens utilizadas na elaboração dos sistemas de controle existentes foi de significativa importância para a elaboração da proposta que constitui o modelo desenvolvido neste primeiro estágio do presente trabalho.

## Aspectos Computacionais

### Modelagem

A tarefa de seleção e configuração de planos semaforicos se baseia maciçamente na análise comparativa das alternativas aplicáveis a cada momento. Dessa forma, a abordagem mais comum é a que utiliza um ou mais parâmetros de eficiência, como maximização do fluxo, ou minimização do tempo médio durante o qual cada veículo permanece na malha viária.

Para que ferramentas computacionais e matemáticas de análise dos dados pudessem ser aplicadas, apresentou-se a necessidade de que o problema de otimização de configuração semaforica fosse analisado de uma forma quantitativa, e para isso procedeu-se à modelagem dos elementos presentes no tráfego.

Pretendendo-se uma abordagem simultaneamente simples e flexível, foi feita uma abstração de forma a obter uma caracterização numérica com o mínimo de elementos possíveis, mas que ainda refletisse de forma fiel a situação real de tráfego.

A busca de um modelo simples foi baseada na expectativa de que o processamento da informação fosse facilitado, diminuindo o custo computacional e aumentando a velocidade de resposta. Procurou-se associar flexibilidade ao modelo, na medida em que essa característica permitiria eventuais modificações futuras, como incrementos de complexidade, ou adaptação a situações mais complexas.

Foram elencados como os elementos importantes do tráfego os veículos, as vias e os semáforos. A escolha recaiu justamente sobre esses elementos pela importância deles na classificação do fluxo, sendo que a modificação em qualquer um pode implicar em uma alteração drástica no tráfego. Objetivando a tradução desses elementos para grafos, procedeu-se ao tratamento individual de cada um deles, levando em conta a relação entre si e o impacto sobre o conjunto.

A cada via foi associada uma capacidade, dada pelo seu comprimento e quantidade de faixas, onde o comprimento da via é multiplicado pela quantidade de faixas em cada sentido e o resultado é dividido pelo comprimento médio de um veículo. O resultado é a quantidade média de veículos que a via suporta no total.

Além dessa informação, associa-se à via a quantidade de veículos aí presentes. Dessa forma, é possível analisar a situação de ocupação da via, que informa também quantos veículos a via em questão ainda suportaria. Além disso, para uma caracterização mais geral, pode-se obter a saturação da via, que informa o percentual de ocupação da mesma, bastando para isso dividir a ocupação pela capacidade.

Esses dois dados poderão ser então utilizados na análise global e local do tráfego, através da saturação, e auxiliarão na determinação das estratégias de controle, na medida em que pode-se priorizar o fluxo para as vias com as que ainda suportam uma ocupação maior de veículos. Além disso, a análise da evolução desses quadros pode auxiliar na detecção de padrões de tráfego, que poderiam ser utilizados para a implementação de estratégias que se mostraram eficientes para essas condições, diminuindo o custo computacional.

A linguagem utilizada para a tradução dos elementos de tráfego foi a dos grafos, feita da seguinte maneira: cada intersecção corresponde a um vértice e cada via a uma aresta, com duas grandezas associadas, ocupação e capacidade da via.

Dessa forma, é possível a caracterização da ocupação da malha viária em um dado

momento, bastando para isso analisar os valores das arestas. Além disso, pode-se saber a cada instante quantos veículos cada via ainda suporta receber, auxiliando na determinação da estratégia de controle semafórico, podendo, por exemplo, determinar aquela que minimize a saturação das vias em questão.

Pretende-se uma visão geral do estado de fluxo, de forma que seja possível a tomada de decisão o menos centralizada possível, levando em conta não apenas a informação local, mas de uma parcela da malha viária de tamanho arbitrário. Essa diretriz se baseia no fato de que sistemas descentralizados podem possuir uma maior robustez, adquirida através da distribuição da responsabilidade de processamento pelos diversos elementos e uma maior velocidade de resposta, dado que a comunicação necessária à tomada de decisão, por essa ser local, geralmente trafega por um caminho menor, levando menos tempo para ser processada e devolvida.

### Simulação

Para que estratégias de controle semafórico possam ser analisadas e testadas quanto à sua eficiência, procedeu-se à implementação da plataforma de simulação de código aberto MITSIMLab (Yang, 1996). O *software* em questão permite a reprodução de cenários reais de tráfego com fidelidade reconhecida por operação em campo (Ben-Akiva, 2002).

MITSIMLab é um laboratório baseado em simulação que foi desenvolvido para avaliar o impacto de sistemas alternativos de gerenciamento de tráfego no nível operacional e auxiliar em um refinamento posterior. O sistema permite o acompanhamento individual dos veículos, além de fornecer estatísticas globais do tráfego, fornecendo estatísticas relacionadas à implementação das diversas estratégias.

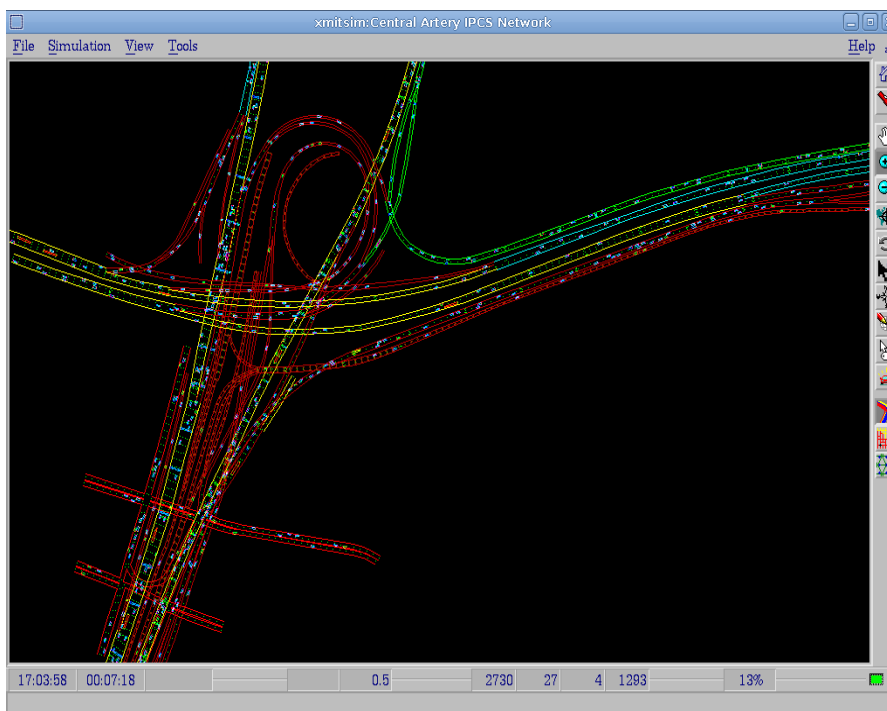


Figura 1. Sistema MITSIMLab em funcionamento.

A implementação do sistema apresentou algumas dificuldades durante a sua execução. Houve a necessidade de acessar o código-fonte do sistema e realizar trabalho de pesquisa em casos similares para que fosse possível resolver problemas de variáveis de ambientes relacionadas a sessões de usuário diferentes no sistema operacional.

Foi realizado um estudo da ferramenta necessária à elaboração de mapas de vias, e um estudo inicial da estrutura de arquivos de parâmetros necessários para os planos de controle semafórico. Esses arquivos possuem as informações utilizadas pelo simulador para alimentar o tráfego de veículos, acompanhar o fluxo de forma individual e agrupada, além de consistir no meio de determinação das estratégias de controle semafórico. Dada a complexidade desses arquivos, decorrente do possível detalhamento do sistema, esse trabalho não pôde ser concluído nesse primeiro estágio e será continuado no próximo.

## **Estratégias de controle e regulação de vias metabólicas**

### **Aspectos teóricos**

Procedeu-se ao estudo das vias metabólicas, que 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.

Procurando-se analisar os aspectos de processamento de informação nesses sistemas, foi realizado um estudo acerca das interações entre seus elementos, como a regulação da velocidade de catálise enzimática pela concentração de um determinado substrato, pelo pH ou temperatura (Lehninger *et al.*, 1997). Essa tarefa foi realizada com o auxílio dos mapas de vias metabólicas disponibilizados pela ferramenta *KEGG* (Kahehisa *et al.*, 2010).

Dentre os fatores analisados, destacam-se:

- a. tomada de decisão autônoma e local por parte da proteína sobre a possibilidade de catálise enzimática sobre o substrato, dada pela especificidade enzima/substrato, codificada na estrutura da proteína, e modulada por fatores do ambiente. Como a decisão é independente, o sistema composto pelas diversas proteínas contextualizadas por uma via metabólica pode adquirir uma maior velocidade de resposta global;
- b. a regulação da via é feita de forma global, onde elementos da própria via comunicam-se através de mecanismos de interação. Essa característica, por

distribuir a responsabilidade do processamento da informação de modulação, pode conferir uma robustez ao sistema como um todo, onde partes do mesmo, mesmo não otimamente funcionais, podem ter sua tarefa realizada por outras partes em funcionamento satisfatório.

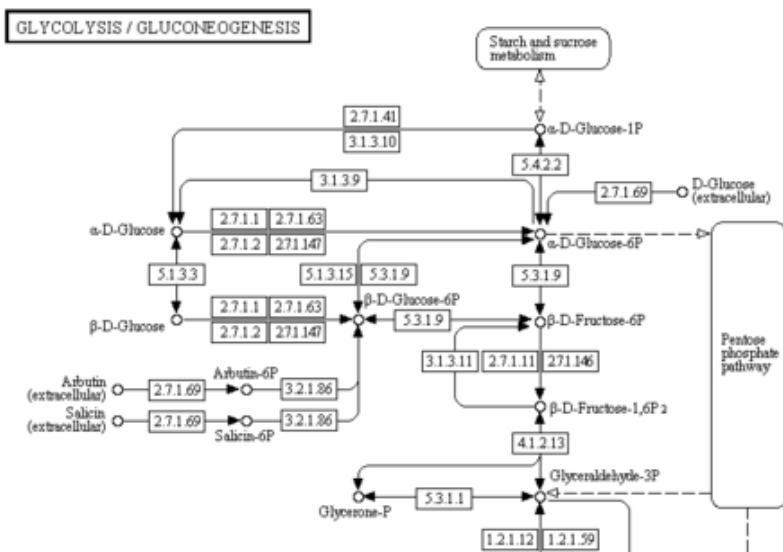


Figura 1: Trecho de um mapa disponibilizado pela ferramenta *KEEG*, caracterizando uma parcela das enzimas presentes e as respectivas interações.

## Aspectos Computacionais

### Dicionário

Para um estudo comparativo entre os fluxos viário e metabólico, procedeu-se à elaboração de um método de tradução dos elementos de um fluxo para o outro.

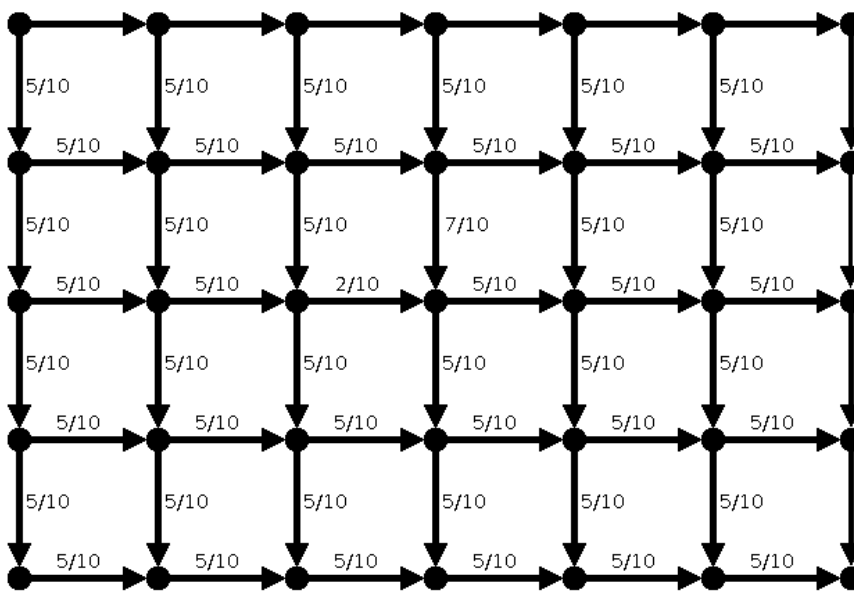


Figura 2: Grafo dirigido representando uma malha viária regular simplificada, onde são exibidos os dados de ocupação/capacidade para um sentido de cada via.

Para que isso fosse possível, utilizou-se uma terceira linguagem, a dos grafos, comum aos dois fluxos, utilizada como descrito acima, onde temos as informações de ocupação/capacidade e de conexão entre as vias de fluxo, como pode ser visto na figura 2.

De forma a caracterizar o fluxo em uma via metabólica, a abstração realizada sobre seus elementos resultou nas seguintes associações: a *capacidade* é dada pela velocidade de catálise enzimática e a *ocupação* pela concentração dos substratos que sofrem a ação catalítica da enzima em questão. Desse modo, é possível a interconversão entre os fluxos viário e metabólico.