

# Aplicação do Algoritmo Genético na Otimização de Tráfego Urbano.

**Gabriel da Silva<sup>1</sup>, Klaifer Garcia<sup>2</sup>, Roosevelt A. da Silva<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Universidade do Vale do Paraíba - Faculdade de Ciência da Computação  
Av. Shishima Hifumi, 2911 CEP 12244-000 São José dos Campos - SP – Brasil  
[1gabrielpaixao@ig.com.br](mailto:1gabrielpaixao@ig.com.br), [2klaifer@yahoo.com.br](mailto:2klaifer@yahoo.com.br), [3roossilva@univap.br](mailto:3roossilva@univap.br)

**Resumo** - Este trabalho reporta um sistema desenvolvido para obter soluções ótimas envolvendo os tempos e sincronismos entre semáforos de uma cidade usando o algoritmo genético. O sistema é robusto para aplicações sob diversas arquiteturas de trânsito, tendo flexibilidade para introduzir e avaliar a influência de parâmetros de entrada envolvendo o fluxo de veículos, a quantidade de semáforos, distância entre semáforos, as velocidades médias das vias e o tempo de frenagem e aceleração de cada veículo nos semáforos. Resultados preliminares com o atual sistema mostram sua habilidade em maximizar a velocidade média de uma malha de trânsito ao configurar adequadamente os tempos e sincronismo entre os semáforos.

**Palavras-chave:** Algoritmo Genético, Engenharia de Tráfego.

**Área do Conhecimento:** Ciência da Computação, Física e Matemática.

## Introdução

Os algoritmos genéticos (AG) são modelos computacionais inspirados na evolução natural, que são capazes de fornecer soluções ótimas para um problema específico. Eles são vistos como uma representação matemática das teorias de evolução e da genética. São baseados nos clássicos postulados da teoria de evolução [1]:

- A evolução é um processo que opera sobre os cromossomos do organismo e não sobre o organismo que os carrega. Desta maneira, o que ocorrer com o organismo, durante sua vida, não irá se refletir sobre seus cromossomos. Entretanto, o inverso não é verdadeiro: os cromossomos do organismo são o projeto e terão reflexo direto sobre todas as características desse organismo (o indivíduo é a decodificação de seus cromossomos).
- A seleção natural é o elo entre os cromossomos e o desempenho que os carrega. Desta maneira, o que ocorrer com o organismo, durante sua vida, não irá se refletir sobre seus cromossomos. Entretanto, o inverso não é verdadeiro: os cromossomos do organismo são o projeto e terão reflexo direto sobre todas as características desse organismo (o indivíduo é a decodificação de seus cromossomos).
- A seleção natural é o elo entre os cromossomos e o desempenho que os carrega. Desta maneira, o que ocorrer com o organismo, durante sua vida, não irá se refletir sobre seus cromossomos. Entretanto, o inverso não é verdadeiro: os cromossomos do organismo são o projeto e terão reflexo direto sobre todas as características desse organismo (o indivíduo é a decodificação de seus cromossomos).
- O processo de reprodução é o pronto através do qual a evolução se caracteriza. Mutações podem causar diferenças entre os cromossomos dos pais e o de seus filhos. Além disso, processos de recombinação (crossover) podem fazer com que os cromossomos dos filhos sejam bastante diferentes dos de seus pais, uma vez que eles combinam materiais cromossômicos de dois genitores.

Foi baseado nestes postulados que Jonh Holland em 1970 iniciou suas primeiras simulações computacionais incorporando tais princípios para resolver problemas complexos de difícil solução de uma maneira muito simples. Atualmente, os AG são modelos computacionais que se aplicam

de forma abrangente em diversas áreas. Devido sua filosofia robusta, torna-se possível aplica-lo usando procedimentos simples de fácil implementação. São algoritmos otimizadores de funções e que podem requerer exaustivas simulações e tempos de CPU consideráveis.

Na resolução de um problema pelo algoritmo genético envolve basicamente duas etapas: a primeira trata-se da codificação da solução em cromossomos, depende de cada problema em particular, envolve o conjunto de possibilidades (configurações) ou soluções possíveis que podem ocorrer (cromossomos). A segunda etapa trata-se do processo de adaptação por meio do uso de uma função adequação, que é essencialmente a ligação entre o cromossomo gerado na primeira etapa e o processo de convergência para se determinar a solução ótima do problema desejado. A função toma como entrada um cromossomo (configuração tentativa do sistema) e retorna um número real, informando o desempenho deste cromossomo no problema; este número representa o grau de adaptabilidade, isto é, quão bem sucedido é o cromossomo. O algoritmo proposto por Holland, conhecido como algoritmo genético padrão (SGA – *Standard Genetic Algorithm*) pode ser sucintamente descrito por 6 passos [6]:

1. Inicia-se uma população, de tamanho  $N$ , com cromossomos gerados aleatoriamente;
2. Aplica-se a função adequação a cada cromossomo da população;
3. Criam-se novos cromossomos através de cruzamento de cromossomos selecionados desta população. Aplica-

se recombinação e mutação nestes cromossomos;

4. Eliminam-se membros da antiga população, de modo a ter espaço para inserir estes novos cromossomos, mantendo a população com o mesmo número  $N$  de cromossomos;
5. Aplica-se a função de adequação nestes cromossomos e insere-os na população;
6. Se a solução ideal for encontrada ou, se o tempo (ou número de gerações) se esgotou, retorna-se o cromossomo com a melhor adequação. Caso contrário volta-se ao passo 3.

Considerando que a função adequação permite obter cromossomos bem adaptados a cada nova geração, espera-se obter a convergência a solução ótima após uma determinada quantidade  $m$  de gerações.

No presente trabalho o algoritmo genético foi empregado a fim de fornecer soluções ótimas para os tempos de semáforos (sincronizados). A função adequação aqui considerada busca maximizar as velocidades médias dos veículos numa determinada malha de tráfego. A forma de sincronizar os tempos entre os semáforos é o fator que determina o aumento ou a redução das velocidades. O algoritmo desenvolvido permite sincronizar não apenas semáforos de uma mesma rua, mas de todas as ruas de uma região (definida pelo usuário) simultaneamente e privilegiando aquelas de maior fluxo de veículos.

## Materiais e Métodos

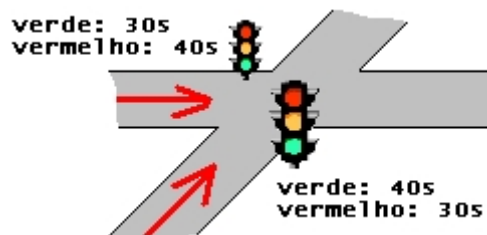
O primeiro passo para adequadamente proceder com o algoritmo genético em busca da solução consiste em determinar quais variáveis de fato estão envolvidas no processo de otimização. Isto determina as variáveis do sistema que requerem perturbações ou modificações pelo algoritmo de modo a explorar o conjunto de possibilidades decorrentes das transformações sofridas no sistema em função das mesmas. Em particular, no problema do tráfego de uma cidade aqui estudado, o tempo de verde/vermelho entre os sinaleiros, o número médio de veículos e as velocidades médias definidas para cada via são as variáveis que podem contribuir no conjunto de soluções ótimas aqui desejadas.

Obviamente que a maximização das velocidades médias das vias ocorrerá quando houver a sincronização dos semáforos de modo que os motoristas evitem parar, consecutivamente, num semáforo após o outro,

favorecendo desta forma o tráfego e evitando congestionamentos desnecessários.

### Especificidades dos Cruzamentos

É importante ressaltar que os sinaleiros envolvidos num determinado cruzamento não podem ser tratados nas simulações de forma independente, isto é, os sinaleiros do cruzamento devem estar acoplados. Isto pode ser percebido pela ilustração da Fig.1:



**Fig.1:** Cruzamento com semáforos sincronizados. Quando um sinal está em verde a  $k$  segundos o outro acoplado a este deve estar no vermelho pelo mesmo tempo.

Assim, se a variável tempo de um sinaleiro for perturbada a fim de se gerar uma nova configuração, para avaliar sua adequação, então é necessário definir apenas o tempo de ocorrência de uma das condições (aberto ou fechado). Por exemplo, se num determinado cruzamento os sinais são do tipo 2-tempos, e o intervalo de tempo  $\tau$  correspondem ao mesmo intervalo de espera para ambos estados (verde e vermelho), então se um deles está no estado de verde há  $m$  segundos o outro, acoplado, deve estar a  $m$  segundos no verde. O desacoplamento direto pode ocorrer somente em casos que envolvem cruzamentos de vias com fluxo bastante diferenciado de veículos. Nestes casos, uma função peso envolvendo a interação entre sinais de um cruzamento poderia ser definida para ponderar devidamente o quão desacopladas as perturbações num sinaleiro podem ocorrer.

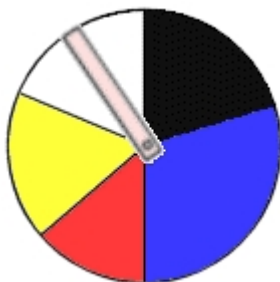
### Geração dos Genes

Como já foi mencionado anteriormente, é desejado que a seqüência de acionamento dos sinais seja sincronizada a fim de maximizar a velocidade média dos veículos. Em termos de algoritmo genético, é necessário traduzir isto numericamente de modo que possa identificar o que modifica de um estado para outro ou de um cromossomo a outro. A combinação dos estados quando agrupados formam a cadeia de DNA aqui considerada. Cada lacuna do DNA (gene) representa de forma numérica uma característica da solução.

A primeira geração de indivíduos (soluções) é iniciada gerando os valores de cada gene estocasticamente. Isto não é feito totalmente de forma livre já que é necessário seguir algumas regras do problema em questão, um exemplo disto é o limite máximo e mínimo da duração de um estado de um semáforo, ou seja, um semáforo não pode ficar travado em um estado(verde ou vermelho) por tempo demais.

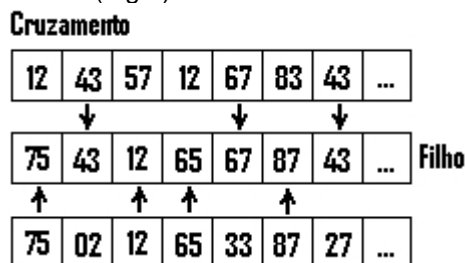
### Critério de Seleção dos DNA

A escolha das melhores soluções ocorre no momento da sua reprodução. Assim como ocorre em sistemas naturais os indivíduos mais saudáveis tem maior chance de reprodução. A forma de implementação desta característica neste trabalho utiliza um algoritmo tipo "roleta" (Fig.2), onde a chance de escolha dos indivíduos é proporcional a sua saúde, isto é, indivíduos mais saudáveis tem maior chance de serem reproduzidos.



**Fig.2:** Ilustração de uma roleta de probabilidades. Indivíduos (diferentes cores) com maior área da figura denotam melhor saúde sobre os demais.

Os indivíduos são escolhidos aos pares e um mesmo indivíduo pode se envolver em mais de um par, o que incrementa a capacidade de reprodução dos indivíduos mais saudáveis. Cada um dos indivíduos escolhidos para uma reprodução contribui com uma parte do DNA resultante (Fig.3).



**Fig.3:** Ilustração do cruzamento de um par de indivíduos dando origem a um terceiro (ao centro). A escolha de qual dos indivíduos (destacado com setas) irá contribuir com um determinado gene é feita de forma aleatória.

Um problema comum de sistemas de otimização é a ocorrência de mínimos locais, ou seja, soluções que são estáveis mas não trata-se da melhor solução (DNA mais saudável). Para evitar esta condição utiliza-se recursos conhecidos como variação ou mutação. A variação é uma pequena alteração aleatória em uma das variáveis que compõe o DNA, já uma mutação é semelhante a variação, mas é aplicada uma alteração maior.

A utilização das variações e mutações devem ser feitas com critério, já que uma utilização muito freqüente pode impedir interferir na convergência do sistema. A taxa geralmente empregada concentra-se ao redor de 7%, que neste trabalho em especial foi de 10%, sendo 9% de variações e 1% de mutações.

### Implementação do modelo apresentado

Para a determinação da qualidade de uma solução é preciso simular um sistema de trânsito urbano, isto quer dizer recriar o tráfego da cidade com todos os seus veículos percorrendo-a e interagindo com os semáforos, cruzamentos, variações de velocidade entre diferentes ruas e ainda interagindo com outros veículos. A qualidade do resultado depende da qualidade desta simulação.

Para reduzir a complexidade desta simulação, fizemos a sua divisão em representação da cidade e medição do tráfego.

Sem aprofundar muito no que foi desenvolvido, a representação da cidade fornece um suporte a consultas rápidas de forma que possa sustentar a execução de algoritmos complexos, como por exemplo o algoritmos de Dijkstra para caminhamento em grafos, que é o algoritmo que utilizamos para determinação da rota de cada um dos veículos envolvidos na simulação.

Sobre o nível de precisão da representação implementada, podem ser citadas as seguintes características. Permite diferença de velocidades em diferentes trechos de uma mesma avenida, permite a instalação de um número ilimitado de semáforos, permite a determinação de em qual mão da via está instalado o semáforo, a localização do semáforo na via com a precisão de metros, o traçado das vias podem possuir curvas, algoritmo para o cálculo do comprimento da via considerando o seu traçado, e outras características.

A edição de um mapa pode ser feita com um conjunto de comandos Java desenvolvidos especialmente para esta edição, ou pela edição manual de um arquivo XML. Seja qual for a forma escolhida, o mapa é armazenado em formato

XML o que viabiliza a edição de grandes e complexos mapas.

Na simulação do tráfego o que desejamos saber é a velocidade média dos veículos que trafegam. Quanto mais eficiente forem os semáforos, menos os veículos irão parar e melhor o tráfego irá fluir, aumentando assim a velocidade média dos veículos e a qualidade da solução.

Os semáforos instalados nas cidades possuem a capacidade de aceitar configurações diferentes para horários do dia diferentes. Isto quer dizer que um semáforo pode ter uma programação diferente para o horário da manhã, que é o horário que normalmente as pessoas estão indo trabalhar, e outra configuração para o horário do final da tarde, que é o horário de retorno do trabalho.

Devido a grande mudança no fluxo do tráfego ao decorrer do dia, imaginamos fazer simulações independentes para cada horário do dia, o que acarreta em uma execução do algoritmo genético para cada faixa de horário do dia.

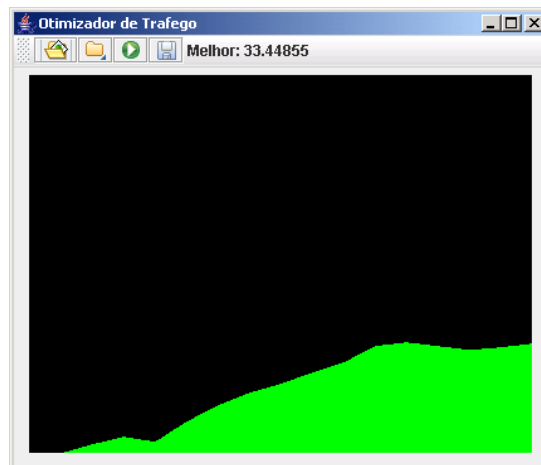
Para atender a esta característica é necessário que a simulação também ocorra de forma distinta nos diferentes horários. Para isto a criação de cada veículo e o seu ponto de origem e destino segue a um roteiro que é definido pelo usuário com o auxílio de um arquivo XML. Para simplificar a edição deste arquivo, o usuário define quais são as regiões de maior volume de saída de veículos e quais são as áreas para onde se destinam, definem também para cada área de origem e destino um valor correspondente ao volume de veículos em veículos por hora.

Cada veículo recebe na sua criação o trajeto que deve seguir, e é capaz de percorrê-lo parando nos semáforos, reduzindo nos cruzamentos e acelerando somente até a velocidade máxima do trecho em que se encontra. Ao final do trajeto o veículo informa a sua velocidade média, o que será utilizado para o cálculo da velocidade média do tráfego como um todo.

Para tornar a simulação mais próxima da realidade, o sistema se encarrega de determinar os pontos de maior volume de veículos e reduzir a velocidade do trecho, simulando assim uma condição de congestionamento. Esta redução leva em consideração o tamanho da via (capacidade máxima em veículos por hora).

## Resultados e Discussão

O sistema desenvolvido realiza a otimização dos semáforos e avalia graficamente (Fig.4) o desempenho do modelo. O sistema permite o usuário escolher o momento de encerrar as simulações diretamente ou optar pelo término após o número de gerações predefinidas.



**Fig.4:** Grafico de evolução da qualidade do resultado, é possível verificar o crescimento da qualidade.

O usuário pode também a qualquer momento salvar a melhor solução encontrada num arquivo no formato XML.

Nossos resultados preliminares, mostra que de fato o sistema, por meio do algoritmo genético, consegue maximizar as velocidades das vias devido a sincronização dos tempos entre os semáforos.

## Conclusão

O sistema desenvolvido permitiu conferir a importância da aplicação de métodos de otimização em problemas de nosso cotidiano e, em particular, compreender como o algoritmo genético trabalha..

## Referências principais.

- Barcellos JCH. *Algoritmos Genéticos Adaptativos: Um estudo comparativo*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo (2000).
- Davis L. *Handbook of genetic algorithms*. New York, van Nostrand Reinhold (1991).
- Miranda, Marcio Nunes. *Algoritmos Genéticos: Fundamentos e Aplicações*. Disponível em : <http://www.gta.ufrj.br/~marcio/genetic.html>. Acesso em: 23 jun 2006.
- Universidade Estadual de Maringá – Grupo de Sistemas Inteligentes. Disponível em: <http://www.din.uem.br/ia/intelige/geneticos>. Acesso em 23 jun 2006.
- University of Applied Sciences - Marek Obitko. Disponível em: <http://cs.felk.cvut.cz/~xobitko/ga/>. Acesso em: 23 jun 2006.