Algorítmos Genéticos na Sincronização de Semáforos de Trânsito

André Felipe Goulart Verri

Fevereiro de 2011

Sumário

1 Introdução

São bem conhecidas as dificuldades encontradas pela sociedade nas médias e grandes cidades do mundo devido a enorme concentração de pessoas. Entre elas, um dos mais preocupantes é a questão do deslocamento. O desenvolvimento e conveniência dos veículos particulares fez com que a quantidade destes nas ruas crescesse num ritmo muito acelerado de modo que o planejamento logístico não conseguiu acompanhar com a mesma velocidades. As cidades então sofrem com a perda de tempo, dinheiro e com a poluição causada pelos inacreditáveis congestionamentos que acontecem diariamente.

Muitas pesquisas já foram feitas, então, para se não solucionar, pelo menos amenizar a situação. O transporte público, o transporte ferroviário, mesmo o planejamentos logísticos de cidades inteiras. Este trabalho, não tem pretenção de solucionar o problema totalmente, ele apenas se propõe a estudar um pequeno modelo: a relação de sincronia entre semáforos de trânsito.

Este estudo não tem a magnitude de resolver os problemas de congestionamentos, na verdade, ele é direcionado a melhorar um trânsito não-congestionado (ou não-saturado) para que este não seja interrompido desnecessariamente.

Entretanto, como cada malha rodoviária é única, é muito difícil (e caro) fazer análises particulares para implementar uma boa sincronia em toda uma cidade (por exemplo). Por isso, este estudo propõe-se a abordar o problema usando um método de otimização estatística, os Algorítmos Genéticos. Assim, este estudo visa experimentar a performance dos Algorítmos Genéticos na sincronização de semáforos, utilizando modelos simples de tráfego.

O estudo apresenta a inspiração deste estudo, mostrando alguns casos simples de sincronização e como estes casos podem ser rapidamente complicados. Também mostra algumas técnicas de modelagem de tráfego, e como elas podem ser aplicadas em uma simulação. Ainda, este trabalho apresenta de forma simples a idéia por trás dos Algorítmos Genéticos. Ao fim, temos algumas simulações de uma situação de tráfego, onde concluímos o quão aplicável se mostraram tais técnicas.

2 Motivação

2.1 Um Exemplo Simples

Vamos supor uma via de mão única que possua dois cruzamentos (Figura 1). Ambos os cruzamentos são sinalizados com semáforos e as vias secundárias não fazem a conversão para a via principal. Qual seria uma boa sincronia para eles? Se pensarmos apenas nos veículos que estão trafegando pela via principal a resposta é bem simples: manter os semáforos abertos o tempo todo. Mas aí não teríamos motivo para um semáforo! Logo fica claro que devemos pensar também nos veículos que trafegam nas vias secundárias.

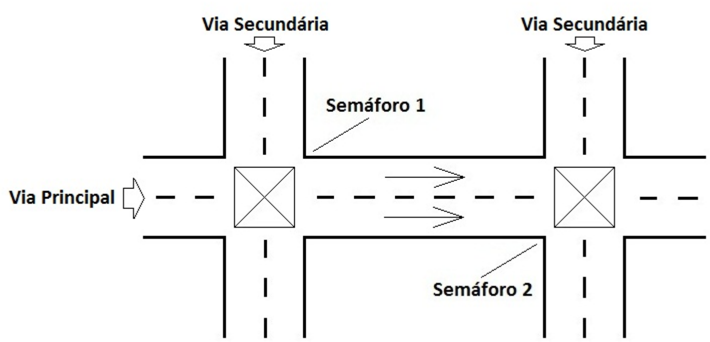

Figura 1: Mão única com 2 cruzamentos com semáforos

Analisando a sincronia do semáforo 2 em relação ao semáforo 1, surge uma idéia simples. Supondo que ambos os semáforos estejam abertos, podemos fechar o semáforo 2 algum tempo depois de fechar o semáforo 1, o suficiente para que os veículos que passaram pelo semáforo 1 antes deste fechar passem também pelo semáforo 2, garantindo que nenhum veículo irá parar em ambos os semáforos. Sabendos que nenhum outro veículo passará pelo semáforo 2 até que o semáforo 1 abra novamente, o semáforo 2 pode manter-se fechado até o semáforo 1 abrir. Este "algum tempo depois" dependeria principalmente da velocidade média dos carros e da distância entre os dois semáforos.

Mesmo assim, ainda há o problema de quanto tempo deixar aberto, e quanto tempo deixar fechado cada um dos semáforos, o que poderia impedir a suposição de que em algum momento ambos os semáforos estariam abertos.

2.2 Complicando

A situação acima parece ter sido resolvida facilmente, usando apenas um pouco de raciocínio lógico, entretanto é facil complicar o problema com pequenas modificações. Se a via principal for uma via de mão dupla (Figura 2), a idéia de abrir os semáforos em ordem torna-se inútil, pois os veículos no sentido contrário à sincronização passarão em ambos os semáforos fechados. Ainda, se as vias secundárias puderem fazer a conversão para entrar na via principal (Figura 3), a hipótese de que nenhum veículo passará pelo semáforo 2 após o fechamento do semáforo 1 torna-se falsa. Isso ainda numa situação que envolvem apenas uma via principal e dois semáforos.

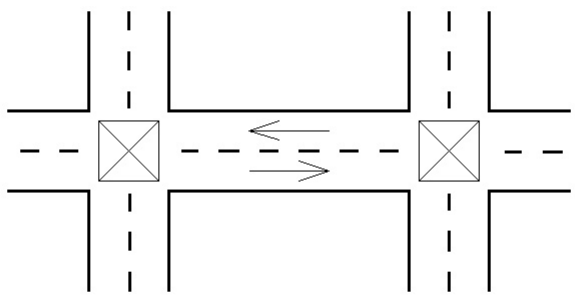

Figura 2: Mão dupla com 2 cruzamentos com semáforos

Agora vamos supor uma pequena malha viária (Figura 4) com quatro vias, quatro cruzamentos, todos sinalizados por semáforos. Todas as vias possuem duas mãos, mas elas não fazem conversão. Note que usando o raciocínio anterior em que a sincronia de abertura de um semáforo depende de outro semáforo como referência, vemos que os quatro semáforos da nossa malha são todos dependentes entre si. A situação complica-se muito mais se adicionarmos a possibilidade de conversão, quando começamos a notar a necessidade de dar maior ou menor importância para algumas trajetórias em função de outras.

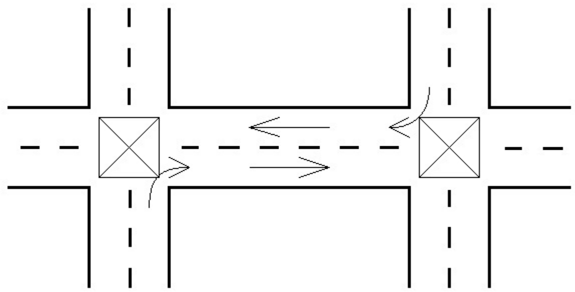

Figura 3: Mão dupla com 2 cruzamentos com semáforos

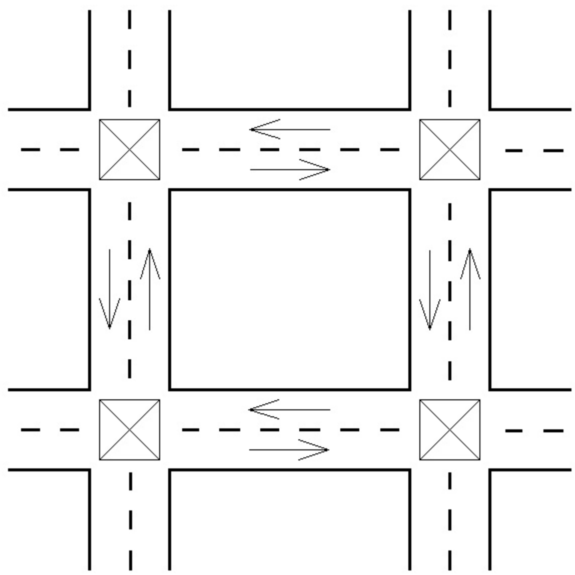

Figura 4: Quatro cruzamentos interligados

Notamos como o problema pode ficar consideravelmente complexo para resolver por lógica. Assim, este trabalho foi motivado a tentar uma técnica diferente, usando algorítmos de otimização estatísticos, para chegar em soluções aplicáveis.

3 Modelagem de Trânsito

Para fazer a otimização do problema, é necessário usar um modelo que represente o sistema. Diversos modelos foram criados e são utilizados atualmente e estão espalhados pela bibliografia existente sobre o assunto. O livro "Traffic Flow Theories"[1] reúne os principais modelos usados atualmente, mostrando suas características e comentando as vantagens e desvantagens de se utilizar cada um deles.

Como a intenção desse trabalho é apenas experimentar a performance dos algorítmos genéticos na sincronização de semáforos, serão usados modelos simples de tráfego. O estudo envolverá a reação de veículos com relação a sinalização semafórica e outros veículos. Excluindo situações mais complicadas como conversões, mudanças na velocidade máxima (entre outras sinalizações), acidentes, interdições; diferença de mobilidade entre veículos devido a peso e tamanho (motocicletas, carros e caminhões, por exemplo); elementos que afetam o tempo de reação dos motoristas como visibilidade, idade e sexo. O estudo supõe então uma homogeneidade do trânsito.

3.1 Direção Livre

Direção livre é o que chamaremos situação onde estudamos o comportamento de um único veículo numa via, dado apenas um limite de velocidade máximo. Supondo também que cada veículo seja respeitoso quanto às leis de trânsito e saiba exatamente a que velocidade se encontra, ou seja, excluindo os erros de medição do veículo e a aproximação do mostrador.

Assim consideramos que o motorista que parte de qualquer velocidade abaixo da máxima acelera de modo "não apressado", ou seja, ele não realiza acelerações ou desacelerações bruscas, até atingir a velocidade máxima e seguirá assim indefinidamente. Segundo o ITE (Institute of Transportation Engineers)[2], essa aceleração é de aproximadamente $1m/s^2$, ou seja, a velocidade do veículo varia em $(3,6km/h)$ a cada segundo. Essa suposição é uma aproximação ao comportamento da aceleração dos veículos, pois ela na realidade não é uniforme.

Assim, a velocidade do veículo V em função do tempo, em m/s, será dada por:

$$V = V_0 + t,\ se\ V < V_{max}$$
$$V = V_{max}\ \ ,\ se\ V = V_{max}$$

onde:
V_0 é a velocidade inicial do veículo (em m/s)
V_{max} é o limite de velocidade máximo (em m/s)
t é o tempo (em s)

Note que como estamos supondo que o motorista é respeitoso às leis de trânsito, nunca teremos $V_0 > V_{max}$ e não existe o caso $V > V_{max}$.

3.2 Parando no Semáforos

A reação dos motoristas quanto a sinalização semafórica já apresenta uma complicação: a sinalização é variável em relação ao tempo. Portanto a resposta não depende apenas de qual é a sinalização, mas em que posição o veículo se encontra no momento de uma mudança desta. Assim, para melhor representar as situações, dividiremos o modelo de acordo com a reação do motorista:

Semáforo Aberto: O caso mais simples de todos por não oferecer obstrução. O veículo mantém seu movimento normal padrão.

Semáforo Fechado: Quando o motorista se depara com esse cenário, ele analisa a distância que se encontra do semáforo, bem como a sua capacidade de frear, baseado em experiências passadas e seu próprio senso de inércia. No nosso modelo, o motorista calcula a partir de que ponto ele deve começar a frear de modo "não apressado" para parar totalmente a tempo. Este ponto é representado na Figura 5 (Linhas de Referências) como "Linha 1".

Mudança Aberto → Fechado: Nesta situação, se o veículo estiver antes da Linha 1, o motorista age como no caso acima. Entretanto, se já estiver depois desde ponto, ele deverá desacelerar mais bruscamente ou não conseguirá frear a tempo. O motorista calcula o quanto deve frear o veículo e responde de acordo. Entretanto, há um outro ponto a partir do qual o motorista não mais consegue parar antes do semáforo, ou a desaceleração será tão brusca de poderá criar uma situação de risco. Este ponto é representado da Figura 5

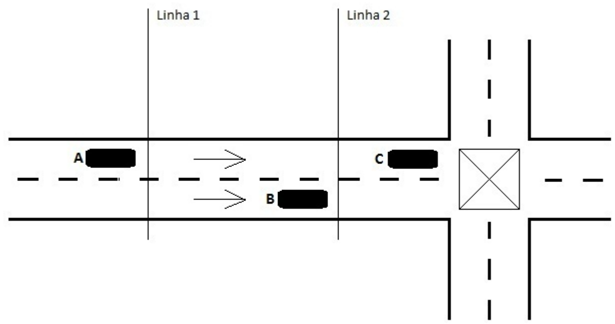

Figura 5: Linhas de Referência

(Linhas de Referências) como "Linha 2". Caso o veículo estiver depois desta linha, o motorista decide continuar seu movimento e passar o semáforo.

Mudança Fechado → Aberto: O que acontece aqui é que o motorista estará sobre o comportamento de um dois dois últimos casos, e passará a agir como o primeiro, continuando seu movimento padrão.

Em todos os casos em que o motorista precisa calcular a desaceleração, seu módulo é:

$$Max(a_1, a_2), \quad onde \quad a_1 = 1 \quad e \quad a_2 = \frac{V^2}{2S}$$

onde:
a_1 é a desaceleração "sem pressa" (em m/s^2)
a_2 é a desaceleração necessária para parar completamente um veículo a uma velocidade V (em m/s) em um espaço S (em m).

3.3 Carro-Seguidor

Os modelos de carro seguidor são modelos que analizam a resposta individual de cada veículo de acordo com o movimento do veículo imediatamente a sua frente. Assim, num modelo de carro seguidor, geralmente se assume que cada motorista está tentando duas coisas: acompanhar o carro a sua frente e evitar colisões. Esta subtarefa de seguir um veículo a frente numa única faixa, é relativamente simples em relação a outras subtarefas que são realizados para executar a "tarefa de dirigir" (tais subtarefas foram categorizadas por Cumming[4]). Ela também já foi descrita por modelos matemáticos com sucesso[1].

Um aspecto interessante nos modelos de carro seguidor é a relação entre o espaço S entre dois veículos seguidos e a sua velocidade V. Isso se dá devido ao fato de que praticamente todos os estimadores de capacidade de veículos em uma única faixa foi baseada na equação:

$$C = (1000)\,\frac{V}{S}$$

onde:
C = capacidade de uma única faixa (em veículos/hora)
V = velocidade (em km/h)
S = espaço médio de parachoque traseiro a parachoque traseiro (em metros)
obs: a multiplicação por 1000 é feita para igualar as unidades

Essa relação foi observada e desenvolvida em diversos estudos listados no "Highway Capacity Manual"[3] que chegaram à seguinte conclusão:

$$S = \alpha + \beta V + \gamma V^2$$

onde:
α = o tamanho do veículo L
β = o tempo de reação T
γ = o inverso de duas vezes a média de desaceleração máxima de um veículo seguidor

O termo γV^2 fornece um espaçamento suficiente para que o carro seguidor possa frear a tempo caso o carro a frente pare instantaneamente. Um valor empírico típico encontrado para γ é de $0,075 s^2/m$[5].

Os modelos de carro seguidor assumem que há uma correlação entre veículos que estejam a uma distância entre 0 até 100 ou 125m. Essa correlação é dada pela reação do motorista no carro seguidor que seria dividida em três etapas: estímulo, decisão e controle. O estímulo são as informações rebecidas principalmente por vias visuais. Velocidades, velocidade relativa, espaçamento entre os carros, acelerações e aproximações entre os carros são

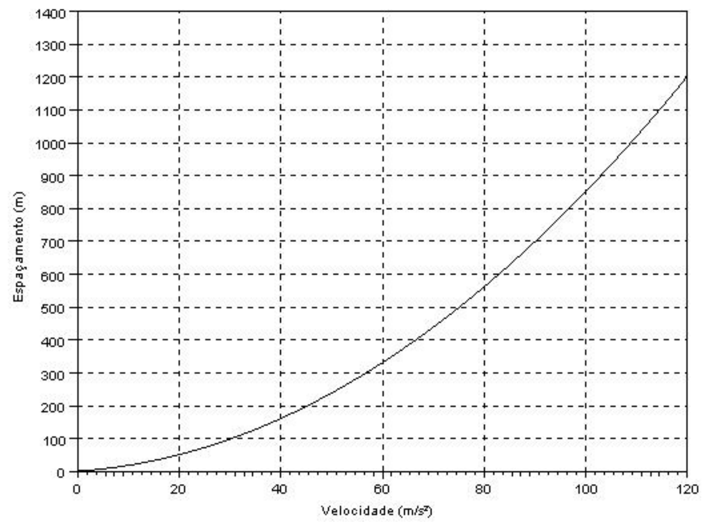

Figura 6: Exemplo com $\alpha = 2m,\ \beta = 1s,\ \gamma = 0,075s^2/m$

todos estimulos que influenciam o comportamento do motorista. A decisão é tomada a partir da interpretação dos estímulos, analizando-os juntamente com uma série de experiências passadas a fim de responder de modo apropriado. E o controle é a resposta física da decisão do motorista que a executa enquanto recebe respostas através dos seus sentidos, do veículo a frente e em volta.

Como cada uma destas tarefas são executadas, como o motorista raciocina ou mesmo o efeito amortecedor da inércia não são levados em consideração nos modelos de carro seguidor. Assim, os modelos assumem que existe uma relação simples entre estímulo e resposta, que representam o processo de controle se uma unidade motorista-veículo[1].

$$Resposta = \lambda\ Estimulo \tag{1}$$

onde λ é um fator de proporcionalidade que iguala as funções de resposta e estímulo.

As tarefas de acompanhar o carro a sua frente e evitar colisões podem ser compridas mantendo uma pequena velocidade relativa média U_{rel} em períodos de tempo pequenos, δt:

$$< U_l - U_f > = < U_{rel} > = \frac{1}{\delta t} \int_{t-\frac{\delta t}{2}}^{t+\frac{\delta t}{2}} U_{rel} \; dt \tag{2}$$

Obs: a equação acima usa os índices l e f para o carro à frente (lead) e o carro seguidor (follow), respectivamente. Está convenção continuará sendo usada nesta seção.

Isso permite que o tempo de colisão $t_c = S(t)/U_{rel}$ seja mantido grande, enquanto o espaçamento entre os veículos não sofre muita variação durante o período de tempo δt.

Como a velocidade relativa é um componente importante em manter a tarefa de carro seguidor, podemos assumir que a função de estímulo dependa diretamente desta variável. Além disso, o estímulo não pode ser apenas momentâneo, mas deve representar em um determinado tempo t, a soma ponderada de todas as velocidades relativas anteriores:

$$< U_l - U_f > = < U_{rel} > = \frac{1}{\delta t} \int_{t-\frac{\delta t}{2}}^{t+\frac{\delta t}{2}} \sigma(t - t') \; U_{rel} \; dt \tag{3}$$

onde $\sigma(t)$ é uma função que representa o processo de informações anteriores pelo motorista. Esta função basicamente representa que coisas que aconteceram a um certo tempo já não são tão relevantes, e o motorista não pode avaliar informações recebidas imediatamente. Assim, podemos assumir que

$$\sigma(t) \;=\; \delta(t - T)$$

onde:

$$\delta(t - T) = 0, \; se \; t \neq T \qquad\qquad \delta(t - T) = 1, \; se \; t = T$$

e

$$\int_0^\infty \delta(t - T) \;=\; 1$$

Então a função estímulo fica :

$$Estimulo(t) = U_l(t-T) - U_f(t-T) \tag{4}$$

Esta função depende somente do tempo de resposta T, e assim vamos utilizá-la. Entrtanto, no caso geral, existe um tempo de resposta médio $\overline{T}$ dado por

$$\overline{T(t)} \ = \ \int_0^t t'\sigma(t')\ dt'$$

Já para função do tempo de resposta, é considerado a aceleração do carro seguidor, pois o motorista tem controle direto desta variável através dos pedais do acelerador e freio e também recebe um retorno pela própria inércia:

$$Resposta(t) \ = \ a_f(t) \ = \ \ddot{x}_f(t) \tag{5}$$

Juntando agora as equações de Resposta (equação 5) e Estimulo (equação4) na relação de proporcionalidade sugerida anteriormente (equação 1), temos:

$$\ddot{x}_f(t) \ = \ \lambda[\dot{x}_l(t-T) - \dot{x}_f(t-T)]$$

ou:

$$\ddot{x}_f(t+T) \ = \ \lambda[\dot{x}_l(t) - \dot{x}_f(t)] \tag{6}$$

A equação 6 é o modelo basico de Carro-Seguidor, e também a versão que usaremos em nossa simulação.

3.3.1 Estabilidade

O modelo do carro-seguidor prevê o comportamento de um veículo dado o comportamento do veículo a sua frente. Entretando, nada impede que o carro a frente seja seguidor de mais um outro veículo e este de ainda mais um. Assim, precisamos garantir que o modelo funcione estavelmente para todos os veículos do conjunto.

Adaptamos então a equação (6) para que possa representar esse sistema:

$$\ddot{x}_{n+1}(t+T) \;=\; \lambda[\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)] \tag{7}$$

onde: $n = 1, 2, 3, ...N$.

Qualquer solução específica das equações acima dependem da velocidade do primeiro veículo $u_0(t)$ e dos parâmetros λ e T. Nosso objetivo consiste em determinar o critério para o aumento do distúrbio inter-espacial dos veículos para impedir que haja uma colisão.

As velocidades dos vários veículos podem ser expressos como combinação linear de componente de frequência por análise de Fourier, de modo que a velocidade do primeiro veículo pode ser representado como:

$$u_0(t) \;=\; a_0 + f_0 e^{i\omega t} \tag{8}$$

e a do próximo n-ésimo veículo como:

$$u_n(t) \;=\; a_0 + f_n e^{i\omega t} \tag{9}$$

Substituindo as equações (8) e (9) na equação (7) temos:

$$u_n(t) \;=\; a_0 + F(\omega, \lambda, T, n) e^{i\Omega(\omega,\lambda,T,n)} \tag{10}$$

Cujo fator de amplitude de $F(\omega, \lambda, T, n)$ é dado por:

$$[1 + (\frac{\omega}{\lambda})^2 + 2(\frac{\omega}{\lambda}) sen(\omega T)]^{-\frac{n}{2}}$$

Este fator decresce a medida que n cresce se:

$$1 + (\frac{\omega}{\lambda})^2 + 2(\frac{\omega}{\lambda}) sen(\omega T) \;<\; 1$$

A maior restrição de λ acontece quando a frequência ω é menor, pois quando temos o limite de $\omega \to 0$, λ deve satisfazer a seguinte desigualdade:

$$\lambda T \; < \; \frac{1}{2}[lim_{\omega \to 0} \frac{(\omega T)}{sen(\omega T)}] \; = \; \frac{1}{2} \tag{11}$$

Assim, a estabilidade do comportamento de todos os veículos é então garantida para todas as frequência onde essa inequação é satisfeita.

3.4 Unindo os modelos

Agora que o comportamento dos veículos a cada situação encontrada na simulação foi apresentado, é necessário discudir como eles interagem entre si.

A "Direção Livre" é o comportamento padrão de todos os veículos. Esse comportamento é substituído de acordo com as restrições que geram os outros comportamentos. A própria descrição das reações aos semáforos já explica a relação deste com a "Direção Livre". Um veículo que se aproxime a um distância de 100m de outro passará a se comportar como o carro-seguidor, a menos que esteja antes de um semáforo fechado e o carro a sua frente estja a frente deste.

A Figura (7) mostra um exemplo de comportamento de 10 veículos, que simulamos no programa SciLab[8] utilizando os seguintes parâmetros: $T = 1$ e $\lambda = 0,3$, com um semáforo em $S = -100$. Note que o semáforo impede o deslocamento dos veículos em determinados períodos.

4 Otimização

4.1 Algorítmos Genéticos

Os Algorítimos Genéticos são métodos estatísticos de otimização. Isso significa que o resultado obtido pode não ser o melhor, mas ele atinge um resultado satisfatório num tempo razoável. Esse tipo de abordagem é perfeito para o nosso modelo simples e repleto de aproximações (dado o considerável

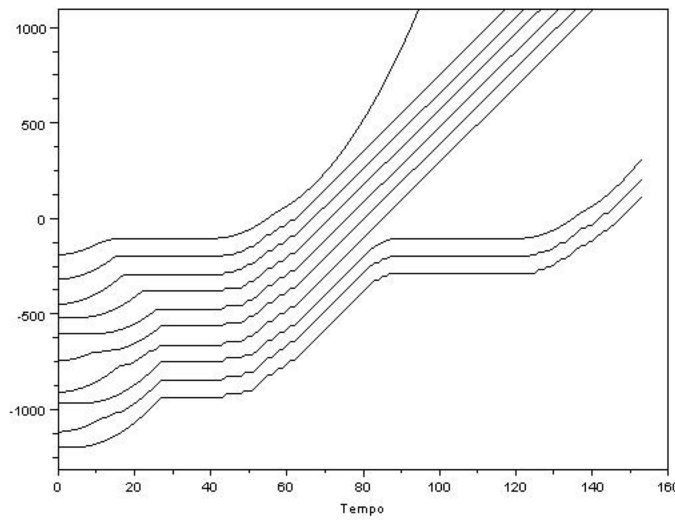

Figura 7: Cada curva representa o deslocamento de um veículo

número de fatores ignorados já mencionados na seção anterior), pois um resultado perfeito neste modelo não quer dizer um rezultado perfeito na aplicação dele na realidade.

Eles recebem esse nome devido a sua semelhança ao processo evolutivo de Darwin[6][7]. O método consiste em criar uma população de soluções para o problema. Cada solução é, então, um indivíduo da população e é caracterizado pelo seu genótipo - os valores para o conjundo de variáveis que definem a solução. Para cada indivíduo da população é calculado o valor resultado da "Função Objetiva" que é o problema a ser resolvido. Este valor é o fenótipo do indivíduo. Cada fenótipo é testado por uma função de adapdabilidade de modo que se possa distinguir quais as soluções que (e o quanto) melhor satisfazem o problema. Esta população é chamada de "Primeira Geração".

A partir daí, uma nova população é criada a partir da antiga já existente. Ela é formada pelo cruzamento e mutação dos genes dos indivíduos da primeira população, ou seja, combinando e alterando alguns dos valores dos genótipos da primeira população. Então, novamente o processo de cálculo de fenótipo e o teste de adaptabilidade é feito, entretanto os piores indivíduos são descartados, restando o mesmo número de indívíduos da população original. Esta nova população é chamada de “Segunda Geração”.

A escolha dos indivíduos escolhidos para fazer estes cruzamentos e mutações é feito aleatoriamente, usando uma distribuição estatística que favorece os “mais aptos”, os que melhores satisfazem o problema. Os genes são escolhidos também de forma aleatória, mas estes numa distribuição uniforme.

O processo de criação de novas gerações é então repetido até que atinjam critério de parada. Esse critério pode variar de acordo com problema que está sendo otimizado.

Uma variação dos Algorítmos Genéticos implica na transformação das variáveis em strings binários, onde cada string é um cromossomo, e cada caractere da string, um gene[6].

4.2 Aplicando

Uma vez entendido o funcionamento geral dos Algorítmos Genéticos, precisamos entender como este método se encaixa no nosso modelo. Para isso vamos considerar a nossa primeira situação mais complicada: uma rua de mão dupla com dois cruzamentos sinalizados por semáforos, sem conversões (Figura 8).

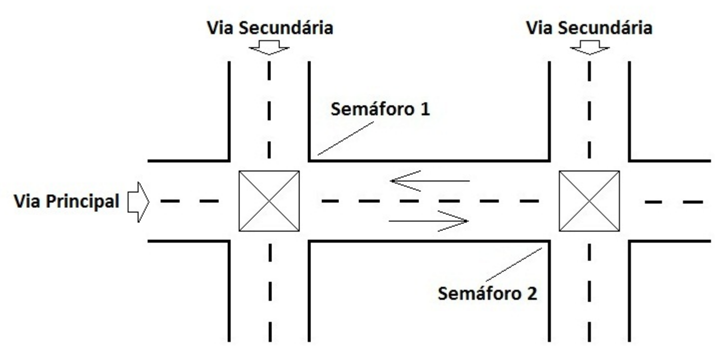

Figura 8: Mão dupla com 2 cruzamentos com semáforos

Nosso objetivo é otimizar a sincronização entre os semáforos. Então cada solução (indivíduo) dependerá de 3 variáveis por semáforo:

- Tempo que o semáforo fica aberto;

- Tempo que o semáforo fica fechado;
- Tempo de início do semáforo na simulação.

Esta última variável é excencial para o critério de sincronização. As duas primeiras variáveis serão números inteiros no intervalo $[10, 90]$ representando segundos. O intervalo foi escolhido para evitar um tempo de parada superior a um minuto e meio e inferior a dez segundos nas vias perpendiculares.

Já a função objetiva será a simulação de uma situação de trânsito. O valor retornado será o tempo, em segundos, que levará para uma quantidade pré-definida de veículos passar pela via.

Por fim, o critério de parada será quando os piores e melhores fenótipos de uma população estiverem a uma diferença pequena entre si ou atingir um número finito pré-determinado de gerações. No segundo caso, analisaremos se houve ou não uma melhora nos resultados como esperamos.

4.3 Simulação e Resultados

A programação foi feita em Scilab[8], e o código encontra-se nos Anexos (pág. 21). Fizemos 5 simulações, todas usando a mesma situação mencionada acima com os seguintes argumentos:

- Limite mínimo dos tempos dos semáforos: 10s
- Limite máximo dos tempos dos semáforos: 90s
- Número de veículos: 20 (10 em cada sentido)
- Distância entre os semáforos: 200m
- População: 100 indivíduos
- Número de casais por geração: 110
- Número de gerações: 25
- Probabilidade de cruzamento: 70%
- Probabilidade de mutação: 10%

Simulação	Sem.1(aberto)	Sem.1(fechado)	Sem.1(início)	Sem.2(aberto)	Sem.2(fechado)	Sem.2(início)	Tempo final
1	67s	74s	80s	77s	15s	89s	77s
2	12s	20s	28s	79s	58s	127s	78s
3	58s	23s	43s	88s	36s	2s	77s
4	82s	24s	60s	73s	66s	131s	78s
5	54s	29s	18s	74s	13s	80s	77s

Tabela 1: Melhores Resultados

A tabela 1 mostra o melhore resultado de cada uma das 5 simulações.

Analisando os resultados, podemos tirar algumas conclusões. A primeira é que há uma propensão a ter tempos de semáforos abertos altos, e fechado baixos. Isso acontece pois o pequeno problema ignora o fluxo de veículos que cruzam a via e que se aproveitariam do tempo de fechamento da via principal.

Mas o que chama a atenção é que os resultados são bem variados, mas todos resultam num tempo total muito próximos. Isso deve ocorrer também devido ao fato de o exemplo testado ser bem simples, fazendo com que várias soluções apresentem um resultado satisfatório.

4.4 Conclusão

Este estudo mostrou que é possível usar os Algorítmos Genéticos como ferramenta para melhorar a sincronização entre semáforos de trânsito. Esta ferramenta permitiu que encontrássemos um resultado satisfatório sem a necessidade de se testar todas as possibilidades, fazendo-o em muito menos tempo.

O caso analizado aqui, devido à sua simplicidade, não nos permitiu encontrar um resultado mais convergente. Isso era esperado, já que um problema muito simples pode ter muitas boas soluções (lembrando que o objetivo dos Algorítmos Genéticos é encontrar um resultado satisfatório num tempo curto, não o melhor resultado). Ainda, um problema muito elaborado pode não oferecer uma solução satisfatória, mesmo que testemos todos os casos possíveis. Em tais casos, uma outra abordagem do problema, que não somente a sincronização de semáforos, é necessária.

Assim, mesmo que a simulação com os Algorítmos Genéticos não possa encontrar um resultado satisfatório, ele acaba apontando em menos tempo esta necessidade de se utilizar de uma outra abordagem para resolver os problemas. Abordagem como repensar a localização dos semáforos, a construção de novas vias, ou mesmo a implementação de transporte público para diminuir o tráfego de veículos particulares.

Por fim, lembramos que para a implementação deste projeto em casos mais complexos são necessários a aplicação de modelos comportamentais não utilizados aqui (conversão, mudança de faixas, outras sinalizações), mais pessoas para fazer a modelagem e programação e computadores mais velozes que possam processar mais informações.

Referências

[1] Gartner, N. H., Messerm C., Rathi, A.K., “Traffic Flow Theory”

[2] Institute of Transportation Engineers (1992). “Traffic Engineering Handbook”, Washinton, DC.

[3] Highway Capacity Manual (1950). U.S. Government Printing Office, Washington, DC.

[4] Cumming, R.W. (1963). “The Analysis of Skills in Driving”, Journal of the Australian Road Research Board 1, pp.4.

[5] Harris, A.J. (1964). “Following Distances, Braking Capacity and the Probability of Danger of Collision Between Vehicles”. Australian Road Research Board, Proceedings 2, Part 1, pp. 496-412.

[6] Banzhaf, W., Nordin, P., Keller, R.E., and Francone, F.D. (1998), “Genetic Programming: An Introduction: On the Automatic Evolution of Computer Programs and Its Applications”

[7] Stern, J.M., “Cognitive Constructivism and the Epistemic Significance of Sharp Statistical Hypotheses in Natural Sciences”

[8] www.scilab.org