

UMA COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO ENTRE ESTRATÉGIAS DE COMPARTILHAMENTO DE RECURSOS ESCASSOS EM SISTEMAS COMPLEXOS

Patrick S. Ribeiro ; Hader A. D. Azini; Moisés R. N. Ribeiro

Programa de Educação Tutorial (PET) Departamento de Engenharia Elétrica

Centro Tecnológico

Universidade Federal do Espírito Santo,

Av. Fernando Ferrari ,s.n., Goiabeiras

29060970 – Vitória – Espírito Santo

Pet.eletrica.ufes@gmail.com

Resumo: *O efeito do comportamento de agentes no compartilhamento ótimo de recursos escassos em sistemas complexos dinâmicos (não-lineares e interativos) é um tema de grande interesse em diversas áreas da engenharia e da economia. Atualmente aponta-se para a inviabilidade prática de qualquer procedimento cooperativo em tais sistemas, onde somente a ação individualista orientada à maximização do seu próprio benefício pode resultar no melhor uso coletivo dos recursos em sistemas reais. Apresentamos neste artigo um procedimento cooperativo de compartilhamento que não exige coordenação central e que eleva significativamente, e de forma simultânea, os níveis de aproveitamento de recursos e de retorno individual quando aplicado ao caso de compartilhamento de uma rodovia com uma única pista. Utilizamos modelos de autômatos celulares para modelagem desse sistema auto-organizado. A formulação NaSch, cujo o objetivo é maximização da velocidade individual, é comparada com uma proposta que visa a manutenção da distância entre o agente e seu antecessor na rodovia. Os parâmetros medidos para comparação de desempenho foram: fluxo (veículos por unidade de tempo), velocidade média atingida pelos agentes e padrão espacial de ocupação da rodovia. As consequências da presente proposta cooperativa no aumento da segurança (por disponibilizar distância frenagem) também são discutidas e avaliadas. Esses modelos de simples implementação podem ser ferramentas importantes de auxílio didático ao estudo de compartilhamento de recursos em outros sistemas complexos.*

Palavras-chave: *Autômatos celulares, Sistemas complexos, Estratégias cooperativas.*

1. INTRODUÇÃO

O ensino de engenharia segue basicamente um modelo reducionista e linear. Por exemplo, o resultado da resposta de um sistema a múltiplas entradas pode ser obtido pela soma das respostas quando o sistema é excitado com cada entrada separadamente. Quando os sistemas não seguem o padrão linear são geralmente utilizados aproximações ou modelos simplificados, sempre tentando trazer o problema para o escopo linear. O estudo de sistemas complexos está surgindo como um novo horizonte para o entendimento e a modelagem de sistemas práticos no escopo da engenharia. Sistemas complexos podem ser definidos como

auto-organizados, onde a interação dos agentes (que seguem regras simples, porém não lineares) produz um comportamento complexo quando entram em contato. Todavia, pode haver um conflito com a maneira tradicional de pensamento da engenharia, como bem descrito por OTTINO (2004):

The hallmarks of complex systems are adaptation, self-organization and emergence — no one designed the web or the metabolic processes within a cell. And this is where the conceptual conflict with engineering arises. Engineering is not about letting systems be. Engineering is about making things happen, about convergence, optimum design and consistency of operation. Engineering is about assembling pieces that work in specific ways — that is, designing complicated systems.

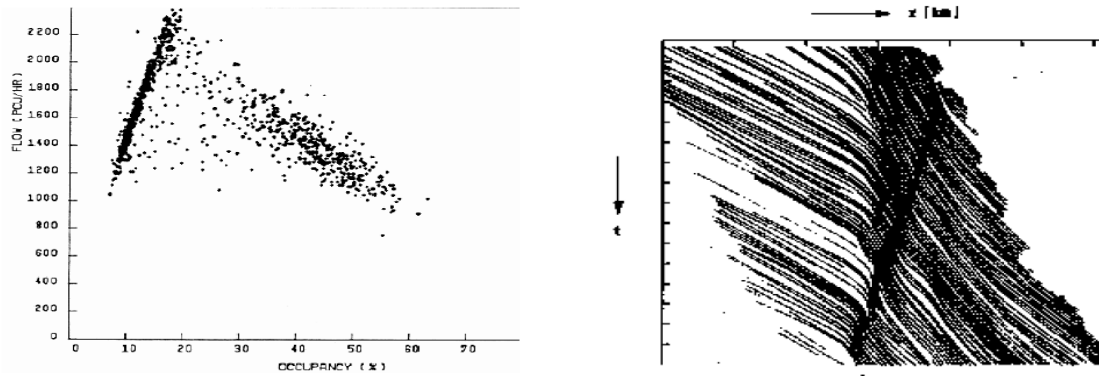
Como o nosso objetivo em engenharia não é apenas observar os sistemas e sim conduzi-los a um propósito específico, neste artigo a nossa proposta é guiar o processo de auto-organização, como uma resposta afirmativa ao questionamento de OTTINO (2004):

Although systems where self-organization has already happened present challenges, there are also opportunities in situations where self-organization can be part of the design. Could we intelligently guide systems that want to design themselves? Is it possible to actually design systems that design themselves in an intelligent manner?

A melhor utilização de recursos escassos é aqui investigada como um problema de engenharia por meio de autômatos celulares que se auto-organizam no compartilhamento de uma rodovia com uma única pista. Pela simples alteração da função objetivo do agente, mostramos que é possível uma melhor utilização da rodovia em vários aspectos. Algumas análises foram feitas utilizando o modelo NaSch para a problema do tráfego em rodovias. As análises foram concentradas no uso de mais faixas, duas faixas como CAMPARI e LEVI (2000) propuseram e três faixas como abordado por DAOUDIA e MOUSSA(2003). Porém nenhum modelo com agentes cooperativos foi proposto para o problema. Do ponto de vista filosófico, este artigo apresenta as vantagens coletivas de uma estratégia simples de cooperação em comparação com um modelo de ação egocêntrica por parte dos agentes. O restante do artigo é organizado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta O problema a ser analisado enquanto a Seção 3 traz a modelagem do problema e a descrição das duas estratégias de utilização da rodovia pelos agentes. Os resultados são apresentados na Seção 4 e as considerações finais na Seção 5.

2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A figura 1(a) mostra os dados experimentais de fluxo de veículos pela taxa de ocupação de uma rodovia real no Canadá TREITERER (1975). Nota-se uma região no gráfico até 15% de ocupação onde ocorre um fluxo livre, i.e., crescimento linear do fluxo à medida que se aumenta a ocupação. Para ocupações maiores, congestionamentos levam a degradação de desempenho à medida que a ocupação é elevada. Tais congestionamentos podem ser visualizados na figura 1(b), onde é apresentada, através das posições dos carros em cada instante de tempo (obtidos por fotografias aéreas), a formação e dissolução de engarrafamentos espontâneos (sem acidentes) HALL (1986) *et al.* Nota-se ainda na Figura 1(b) o congestionamento se propagando no sentido contrário ao do movimento dos carros.



(a)

(b)

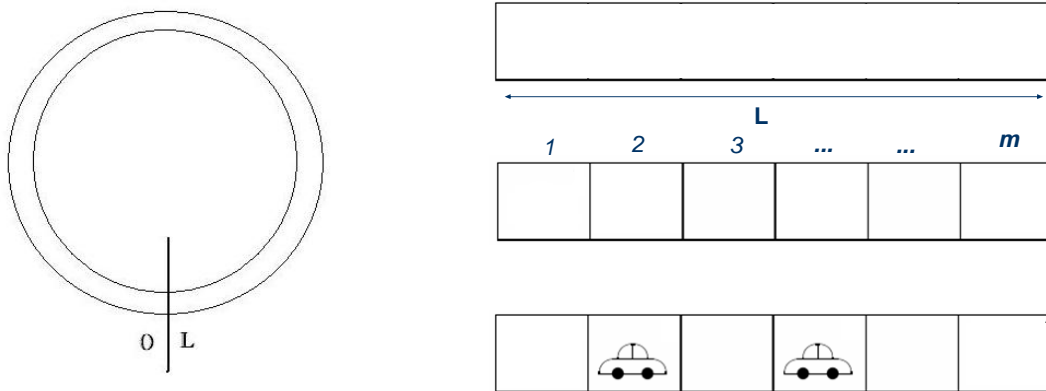
Figura1: Dados de uma rodovia real, (a) gráfico do fluxo de carros por ocupação da rodovia, (b) ocupação ao longo do tempo.

Motoristas em uma rodovia apresentam comportamento que pode ser modelado por autômatos celulares, dado que as ações dos agentes basicamente dependem do estado de um conjunto finito de agentes vizinhos.

3. MODELAGEM DA RODOVIA E DOS AGENTES

3.1 Modelagem da rodovia

A situação analisada consiste em uma rodovia circular de comprimento L onde os carros assumem posições discretas (de 1 até m) como ilustrado nas Figuras 2(a) e 2(b).



(a)

(b)

Figura 2: Modelo de rodovia simulado, (a) formato da rodovia simulada, (b) disposição dos carros na rodovia.

Para a movimentação ao longo da rodovia os agentes (motoristas) assumem duas estratégias. No primeiro modelo os agentes se movimentam orientados pelo algoritmo proposto pelo modelo NaSch GÁBOR e CSABAI (2002). Tal estratégia apresenta caráter não cooperativo, uma vez que os agentes buscam maximizar sua própria velocidade. No segundo

modelo os agentes assumem uma estratégia cooperativa de forma a buscar o aproveitamento ótimo global.

3.2 Estratégia não cooperativa (modelo NaSch):

A posição dos carros assume valores discretos $X(n)=1,2,3,\dots,m$, assim como os valores de velocidade $V(n)=1,2,3,\dots,V_{max}$ (posições por unidade de tempo), a cada unidade de tempo as posições e velocidades são atualizadas segundo o algoritmo abaixo.

Aceleração:

$$\text{Se } X(n+1) - X(n) > V(n)$$

$$V(n+1) = V(n) + 1$$

Desaceleração:

$$\text{Se } 0 < X(n+1) - X(n) \leq V(n)$$

$$V(n) = X(n+1) - X(n) - 1$$

Randomização:

Cada carro tem uma probabilidade α de desacelerar. Caso seja satisfeita a condição probabilística e $V(n) > 0$, então $V(n) = V(n) - 1$.

Deslocamento:

$$X(n+1) = X(n) + V(n)$$

O agente não cooperativo tenta a todo instante maximizar sua velocidade como forma de buscar o aproveitamento ótimo individual.

3.3 Estratégia cooperativa

Nessa estratégia os agentes buscam manter a distância para o carro da frente o mais próxima possível da distância sugerida. As posições e velocidades são atualizadas a cada instante de tempo segundo o algoritmo abaixo:

Aceleração:

$$\text{Se } d_{sugerida} > X(n+1) - X(n)$$

$$V(n) = X(n+1) - X(n) + 1$$

Desaceleração:

$$\text{Se } d_{sugerida} < X(n+1) - X(n)$$

$$V(n) = X(n+1) - X(n) - 1$$

Permanência

$$\text{Se } d_{sugerida} = X(n+1) - X(n)$$

$$V(n+1) = V(n)$$

Randomização

Cada carro tem uma probabilidade α de desacelerar. Caso seja satisfeita a condição probabilística e $V(n) > 0$, então $V(n) = V(n) - 1$.

Deslocamento:

$$X(n+1) = X(n) + V(n)$$

3.4 Métricas

Os dados da simulação analisados (perfil ocupação da rodovia, fluxo de veículos velocidade média) foram obtidos no código utilizando as formas ilustradas abaixo através de partes da rotina utilizada para gerar os gráficos no programa MATLAB.

Perfil de ocupação:

```
plot(mcar(1:nit,:),1:nit)
```

Desenha as posições dos carros em cada iteração (passagem de tempo), gerando assim um perfil de ocupação da rodovia em cada modelo.

Fluxo de veículos:

```
if (mcar(i,h)< mcar(i-1,h)
```

```
u=u+1;
```

Conta os carros que passam o marco zero do anel da rodovia, gerando assim o número de carros que passam por aquele ponto por unidade de tempo (fluxo).

Velocidade média:

```
mV (1,k)=mean(mean(V))
```

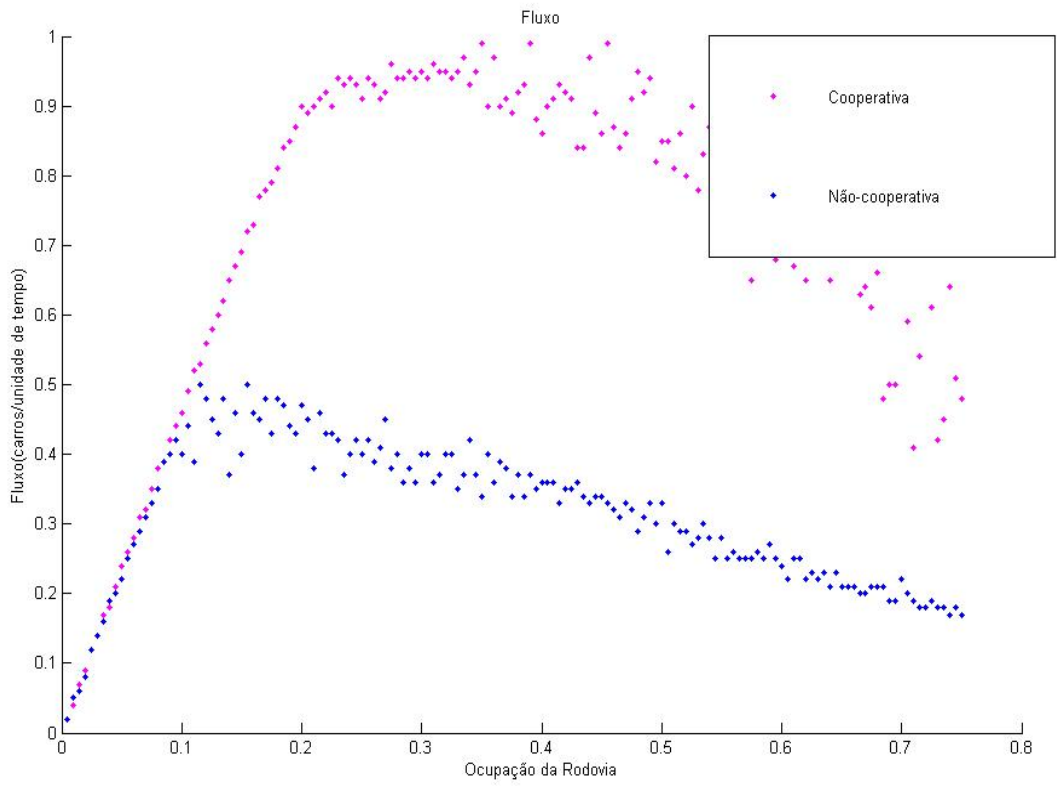
Calcula a velocidade media dos carros em todas as iterações para cada ocupação da rodovia.

4. RESULTADOS

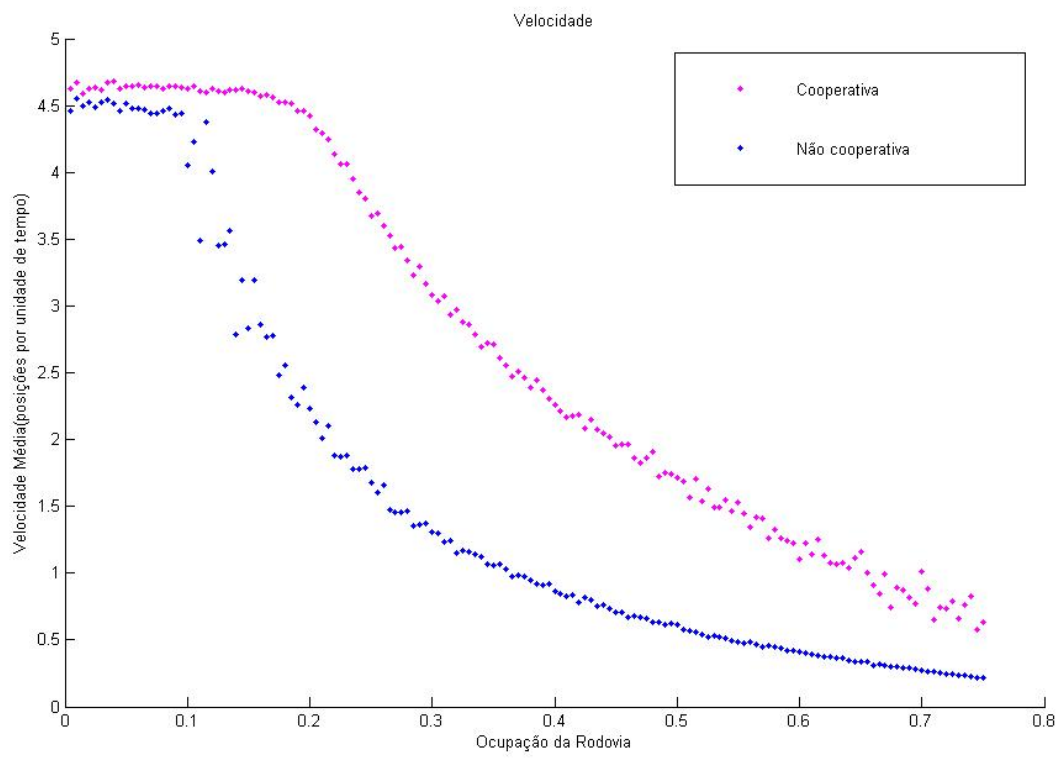
No comportamento geral, o modelo do agente cooperativo mostrou melhores resultados que o modelo do agente não cooperativo. À medida que a ocupação da rodovia aumenta a diferença entre os dois modelos torna-se mais significativa, já com níveis de ocupação entre 0 e 10% os dois modelos são equivalentes mesmo variando a distância sugerida no modelo cooperativo. Além disso, o modelo cooperativo apresentou maior resistência ao aumento da aleatoriedade, ou seja, o tráfego se desorganiza menos no modelo cooperativo do que no outro modelo, ao serem submetidos a um aumento da aleatoriedade.

Na figura 3(a), temos a comparação de fluxos (curva rosa modelo cooperativo e curva azul modelo não cooperativo) para os agentes com 30% de chance de frear aleatoriamente, distância sugerida no modelo cooperativo(chamada de “d”) igual a 2 posições e velocidade máxima sugerida(para os dois modelos) igual a 5 posições por unidade de tempo. Até uma ocupação da rodovia em torno de 15% observa-se uma equivalência entre os modelos no que se refere ao fluxo, à medida de a ocupação da rodovia é aumentada o modelo cooperativo mostra-se bem mais eficiente.

Na análise de velocidade média, comparação feita na figura 3(b), observa-se comportamento semelhante ao fluxo, até uma ocupação próxima aos 15% os modelos possuem comportamento semelhante e à medida que a ocupação da rodovia aumenta, o modelo cooperativo se mostra melhor no que se refere à velocidade média. Com a ocupação baixa a velocidade média fica próxima da velocidade máxima para os dois modelos, a máxima velocidade só não é alcançada devido ao fator de aleatoriedade.



(a)

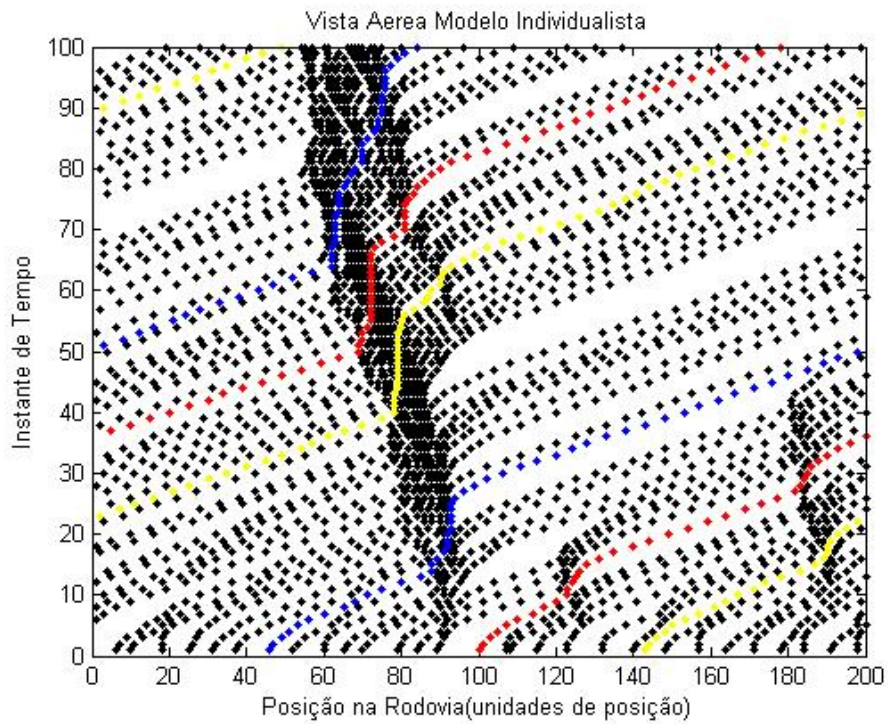


(b)

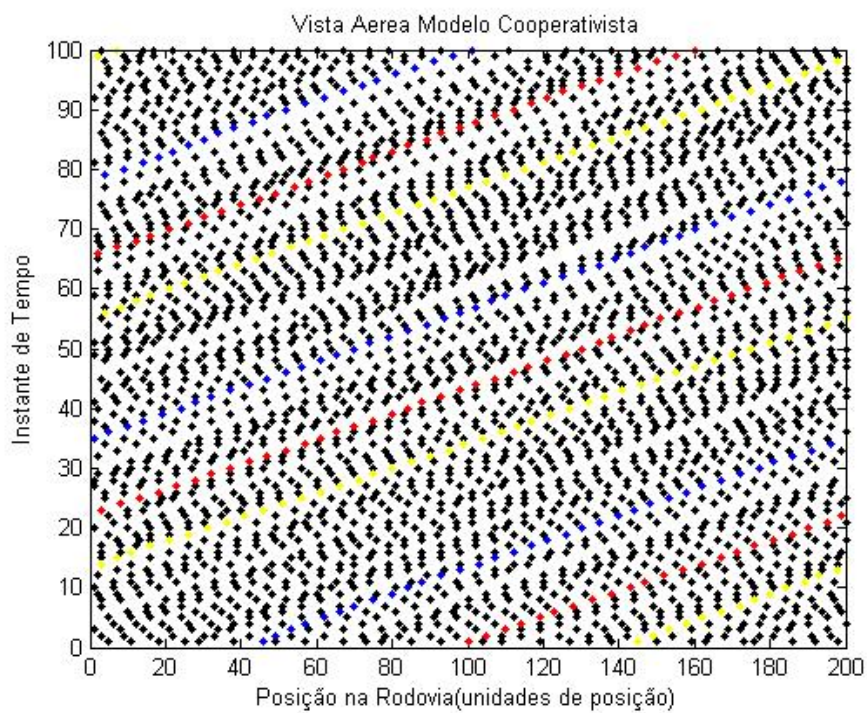
Figura 3: Dados da rodovia simulada, (a) comparação de fluxos, (b) comparação de velocidades.

Na figura 4(a) observa-se o tráfego de veículos para o modelo não cooperativo e uma ocupação da rodovia em torno de 15%. No eixo das ordenadas orientado para cima temos a passagem dos instantes de tempo, no eixo das abscissas temos a posição dos carros na rodovia. No gráfico alguns carros foram destacados com cores diferentes (azul, amarelo, vermelho) para melhor observação. Observa-se a formação de um engarrafamento que se propaga em sentido contrário ao do movimento dos carros. Mesmo com a ocupação baixa, o tráfego de veículos é praticamente interrompido em alguns instantes (quando os carros chegam à zona de engarrafamento).

Já na figura 4(b) é mostrado o tráfego de veículos simulado para o modelo cooperativo, as grandezas dos eixos do gráfico são idênticas às da figura 4(a). Observa-se o movimento dos veículos bem mais organizado e sem a formação de engarrafamentos com a mesma ocupação da figura 4(a) (15%). Os veículos mantêm uma velocidade praticamente constante e não há grandes aglomerações. Observando que nas Figuras 4(a) e 4(b) a escala de tempo está orientada para cima, sentido oposto à escala do gráfico da figura 1(b) que representa o tráfego real.



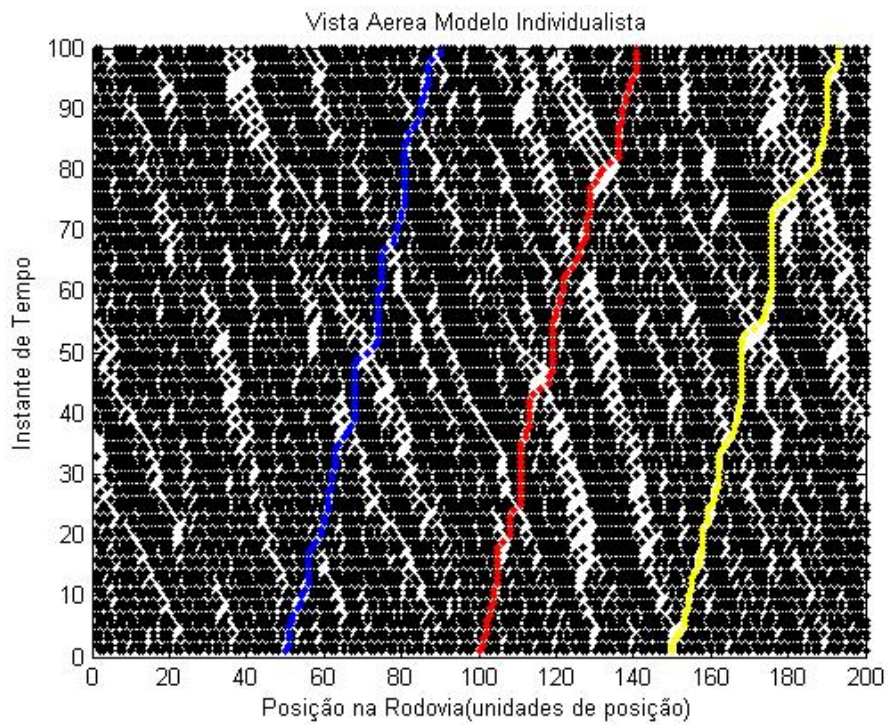
(a)



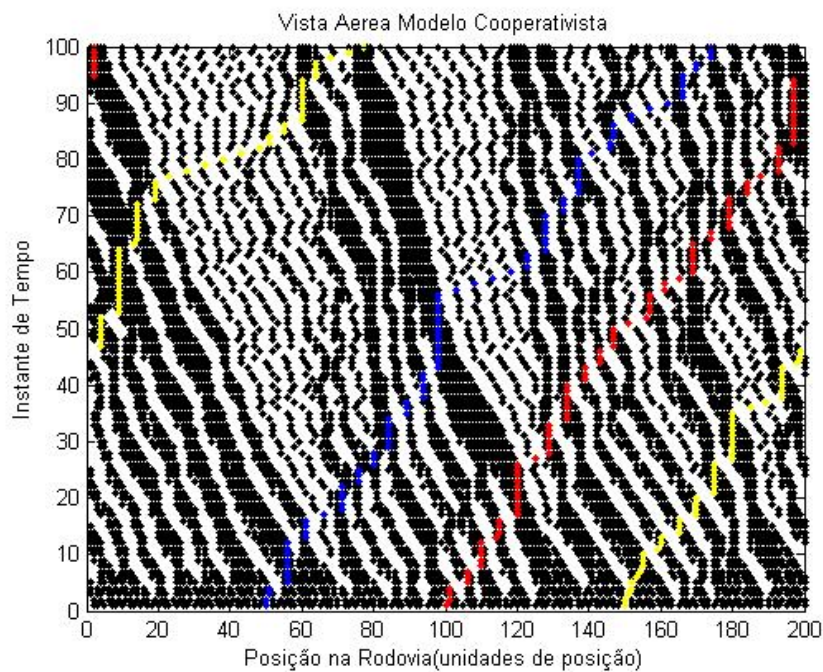
(b)

Figura 4: Ocupação de rodovia simulada, (a) ocupação no modelo não cooperativo, (b) ocupação no modelo cooperativo.

As figuras 5(a) e 5(b) possibilitam a comparação entre os tráfegos resultantes para os dois modelos com uma ocupação da rodovia de 60%. Observa-se o tráfego melhor organizado no modelo cooperativo e a formação de comboios no mesmo.



(a)



(b)

Figura 5: Ocupação de rodovia simulada, (a) ocupação no modelo não cooperativo, (b) ocupação no modelo cooperativo.

Na Figura 6 é feita uma comparação entre fluxos para os dois modelos e para diferentes valores de distância sugerida no modelo cooperativo (d variou de 1 a 4) a curva vermelha, correspondente ao modelo cooperativo com distância sugerida igual a 1 apresentou o melhor resultado de fluxo, porém esse valor de distância corresponde aos carros colados um ao outro o que por segurança não é aconselhável. Mas mesmo com distâncias sugeridas maiores (duas, três ou quatro posições) o modelo cooperativo apresenta um fluxo de veículos maior.

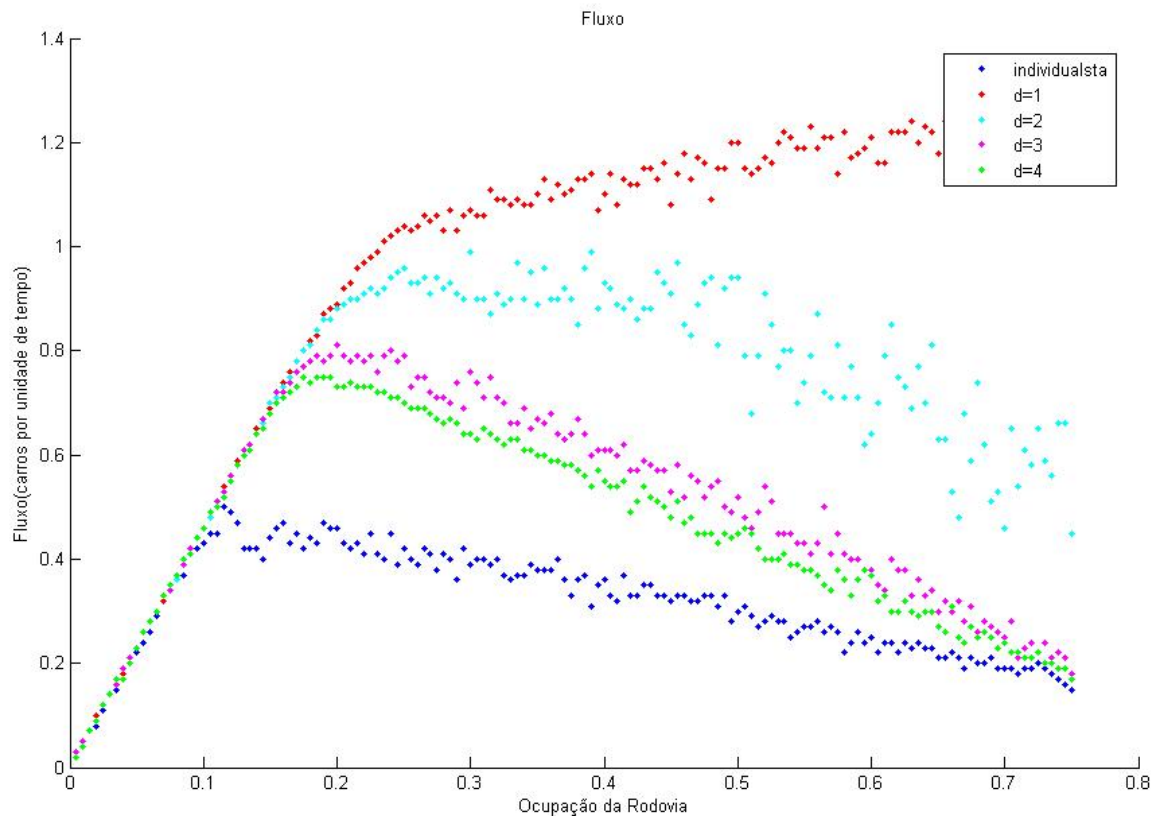


Figura 6: comparação de fluxos variando a distância sugerida

Na Figura 7 é feita a comparação de velocidades médias para os dois modelos e variando a distância sugerida no modelo cooperativo, também observa-se um desempenho melhor para o modelo cooperativo e à medida que se aumenta a distância sugerida a curva de velocidade média é deslocada para baixo.

O aproveitamento ótimo para rodovia no que tange a velocidade também ocorreria no caso de distância sugerida igual a um (carros colados um ao outro), situação representada pela curva de d=1, essa condição não ofereceria segurança, sendo assim, a distância sugerida pode ser de dois, três, quatro ou até maior dependendo da velocidade máxima permitida.

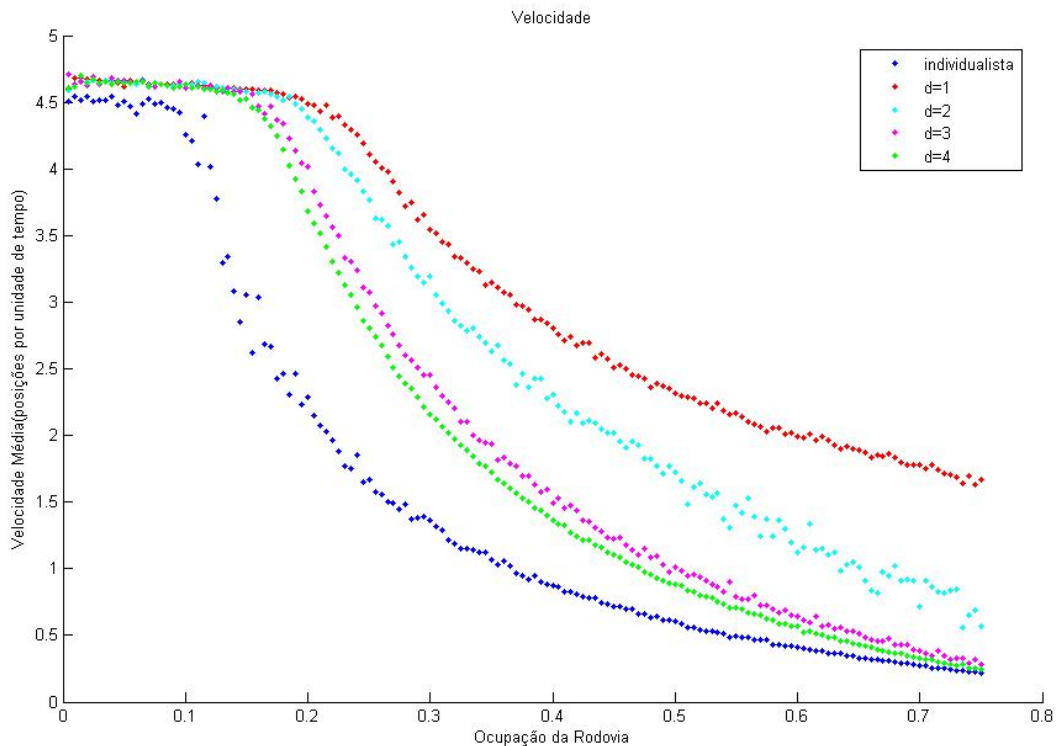


Figura 7: comparação de velocidades variando distância

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho o sistema complexo de tráfego numa rodovia foi modelado por autômatos celulares através de duas estratégias, uma cooperativa e outra não cooperativa. Os resultados para a estratégia cooperativa se mostraram superiores aos da estratégia não cooperativa. Aspectos de segurança podem também ser melhorados sem grande degradação do desempenho. A modelagem de sistemas complexos realizada é extremamente simples e com resultados bastante satisfatórios, sendo uma forma atrativa de introdução de tais assuntos nos cursos de graduação em engenharia.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPARI, E. G.; LEVI, G. A cellular automata model for highway traffic.

The European Physical Journal B, Volume 17, Issue 1, pp. 159-166, 2000.

DAOUDIA, A. K ; MOUSSA, N. Numerical Simulations of a Three-Lane Traffic Model Using Cellular Automata. **Chinese Journal of Physics**, v.41, N° 06, 2003.

GÁBOR, S.; CSABAI, I. The analogies of highway and computer network traffic.

PHYSICA A ISSN: 0378-4371 Vol. 307 Núm. 3-4, 2002

HALL, F.L; ALLEN B.L; GUNTER M.A. Hamilton, Ontario, Canadá. Transp. Res. A20, 197 ,1986.

J. TREITERER. Ohio State Technical Report. Columbus,Ohio, N° PB 246 094, 1975.

OTTINO, J. M. Engineering complex systems. Nature ,v .427,p.399,2004.

PAVARD, B; DUGDALE, J. An Introduction to Complexity in Social Science.
<http://www.irit.fr/COSI/training/complexity-tutorial/history-of-complex-systems.htm>
Acessado em 27/06/2008.

A COMPARISSON OF PERFORMANCE BETWEEN STRATEGIES OF SCARCE RESOURCE SHARING AT COMPLEX SYSTEMS

Abstract: *The effect of the agents behavior on at scarce resources sharing at dynamic complex systems (non-linear and interactive) is a theme of great interest in many engineering and economics areas. Nowadays it is clear the “practical impracticability” of any cooperative procedure in such systems, where only individualist action towards self-profit can result in the best use for collective resources in real systems. It was presented in this article a cooperative procedure of sharing witch does not needs central coordination and greatly elevates, on a simultaneous way, the levels of exploitation on resources and individual profit when applied to the case of a one lane road. Using models of cellular automata for modeling this self-organized system. The formulation o NaSch, whose objective is the maximization of individual speed, is compared with a proposal which objective is the maintenance of distance between the agent and his antecessor on the road. The parameters measured for comparison on performance were: flux (vehicles per time unity), average speed achieved by the agents and road space occupation pattern. The consequences of the present proposal on the safety level increase (due braking distance) are also discussed and evaluated. These simple implementation models can be important tools for learning support on the complex systems resource sharing study.*

Key-words: *Cellular automata, Complex Systems, Cooperative Strategies*