

# Simulação e controle inteligente de tráfego veicular urbano

Denise de Oliveira  
Instituto de Informática - UFRGS

XVII Seminário de Computação (SEMINCO)

04/11/2008

# Roteiro

Introdução

O Simulador ITSUMO

Simulação de Caso Real: Av. Assis Brasil (POA)

Controle utilizando agentes inteligentes

Aprendizado multiagente aplicado ao controle

Aprendizado com cooperação oportunística

Conclusões

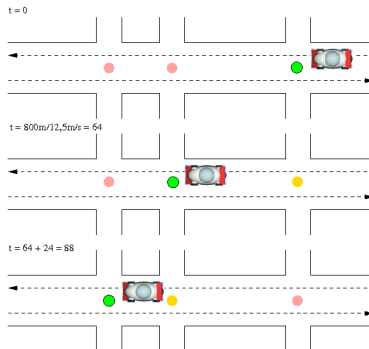
# Introdução

- ▶ Sociedade moderna: **Alta demanda por mobilidade**
- ▶ Propostas vêm sendo desenvolvidas por diferentes disciplinas como: engenharia de tráfego, **computação**, física entre outras.



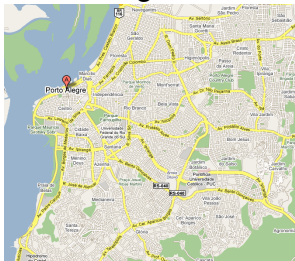
# Controle de Tráfego

- ▶ Uma abordagem clássica utiliza a **sincronização dos semáforos** de modo que os veículos possam atravessar uma via arterial em uma direção com uma velocidade específica, sem paradas  $\Rightarrow$  **onda verde**.



# Controle de Tráfego

## ▶ Porto Alegre:



Em cidades com urbanização complexa, não se pode usar uma sincronização **fixa**!

908 cruzamentos controlados  
82% conectados a central  
**nenhum** inteligente...

# Controle de Tráfego

Sistemas adaptativos  
oferecem soluções  
**flexíveis!**



- ▶ São Paulo:
  - 4590 cruzamentos controlados
  - 1507 cruzamentos inteligentes
  - 165 câmeras



# O Simulador ITSUMO



## ▶ ITSUMO

Intelligent Transportation System for Urban Mobility

# O Simulador ITSUMO



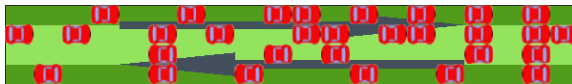
- ▶ ITSUMO  
Intelligent Transportation System for Urban Mobility
- ▶ Simulador **microscópico** de tráfego que utiliza o modelo de Nagel–Schreckenberg para movimentação dos veículos (automato celular!);



# O Simulador ITSUMO



- ▶ ITSUMO  
Intelligent Transportation System for Urban Mobility
- ▶ Simulador **microscópico** de tráfego que utiliza o modelo de Nagel–Schreckenberg para movimentação dos veículos (automato celular!);
- ▶ As ruas são divididas em células de capacidade de 1 veículo:



## O Simulador ITSUMO

Regras de movimentação dos veículos:

Regra I **Aceleração**: Se a velocidade  $v < v_{máxima}$  e  $gap > v + 1$ , então ele deve acelerar ( $v \leftarrow v + 1$ );

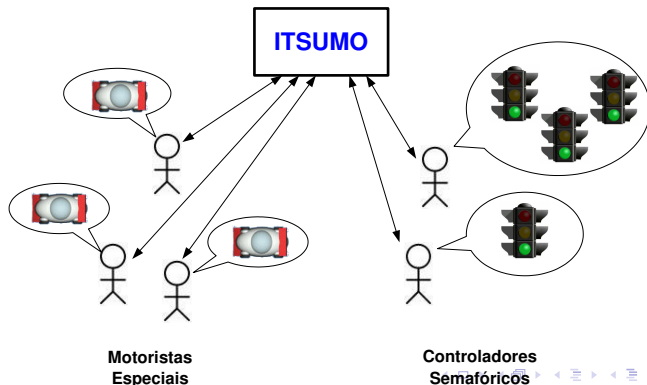
Regra II **Desaceleração**: Caso a distância até o próximo veículo seja inferior ou igual a sua velocidade, então o veículo deve reduzir sua velocidade ( $v \leftarrow gap$ );

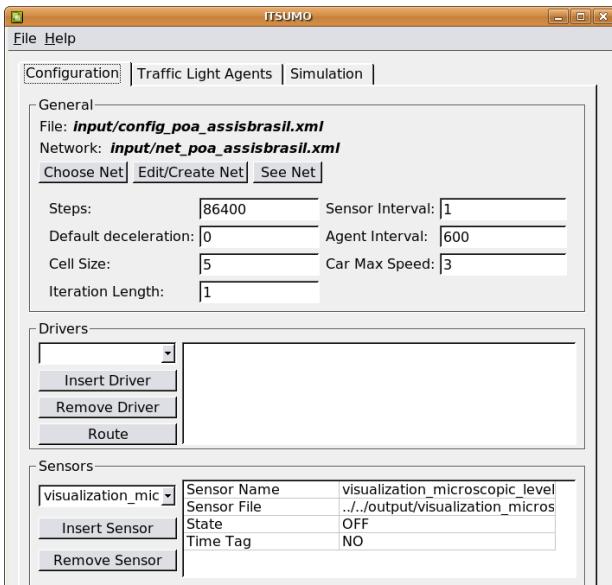
Regra III **Aleatoriedade**: cada veículo pode, com um probabilidade  $p$ , reduzir sua velocidade em uma unidade;

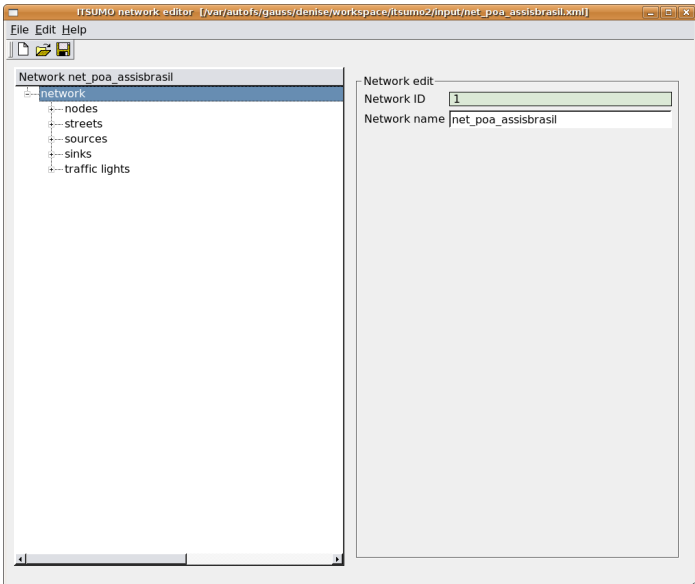
Regra IV **Movimentação**: cada veículo avança  $v$  células.

## O Simulador ITSUMO

- ▶ Os semáforos e motoristas podem ter comportamento controlado por módulos externos;
- ▶ O simulador utiliza o conceito de **AGENTES**







ITSUMO network editor [var/autofs/gauss/denise/workspace/itsumo2/input/net\_poa\_assisbrasil.xml]

File Edit Help

Network net\_poa\_assisbrasil

- network
  - nodes
    - Node Acores(N) (id 92)
    - Node Acores(Source) (id 93)
    - Node AdaoBaino(S) (id 37)
    - Node AdaoBaino(Source) (id 38)
    - Node AlbertoSilva(S) (id 13)
    - Node AlbertoSilva(Sink) (id 15)
    - Node AlbertoSilva(Source) (id 14)
    - Node Alianca(N) (id 702)
    - Node Alianca(Sink) (id 29)
    - Node AlvarezCabral(S) (id 49)
    - Node AlvarezCabral(Sink) (id 51)
    - Node AlvarezCabral(Source) (id 50)
    - Node Andarai(Sink) (id 90)
    - Node AntonioJoaquimMesquita(S) (id 64)
    - Node AntonioJoaquimMesquita(Source) (id 65)
    - Node AssisBrasil\_Acores (id 91)
    - Node AssisBrasil\_AdaoBaino (id 36)
    - Node AssisBrasil\_AlbertoSilva (id 12)
    - Node AssisBrasil\_Alianca (id 28)
    - Node AssisBrasil\_AlvarezCabral (id 48)
    - Node AssisBrasil\_Andarai (id 89)
    - Node AssisBrasil\_AntonioJoaquimMesquita (id 88)
    - Node AssisBrasil\_Begin (id 3)
    - Node AssisBrasil\_BennoMentz (id 4)
    - Node AssisBrasil\_Bernardi (id 39)
    - Node AssisBrasil\_BezerraDeMenezes (id 11)
    - Node AssisBrasil\_Bogota (id 9)
    - Node AssisBrasil\_CarneiroDaFontoura (id 10)
    - Node AssisBrasil\_CostaRica (id 16)


Node edit

ID

Node name

X coordinate

Y coordinate



When assigning nodes coordinates, be advised that the coordinate system used in Itsumo is as above.

Create another node

ITSUMO network editor [var/autofs/gauss/denise/workspace/itsumo2/input/net\_poa\_assisbrasil.xml]

File Edit Help

Network net\_poa\_assisbrasil

- network
  - nodes
  - streets
    - AvAndaraí
    - AvAssisBrasil
      - Section (AssisBrasil\_Mali) <-> (AssisBras
      - Laneset (AssisBrasil\_Bogota) -> (As
      - Laneset (AssisBrasil\_Mali) -> (AssisE
      - Section (AssisBrasil\_AntonioJoaquimMes
      - Section (AssisBrasil\_BennoMentz) <-> (/
      - Section (AssisBrasil\_EdmundoBastian) <
      - Section (AssisBrasil\_Begin) <-> (AssisBr
      - Section (AssisBrasil\_FranciscoTrein) <->
      - Section (AssisBrasil\_Jari) <-> (AssisBrasi
      - Section (AssisBrasil(Source)) <-> (AssisE
      - Section (AssisBrasil\_DomingosRubbo) <
      - Section (AssisBrasil\_AlvarezCabral) <->
      - Section (AssisBrasil\_Sarapui) <-> (Assis
      - Section (AssisBrasil\_PlinioBrasilMilano) <
      - Section (AssisBrasil\_FernandoCortez) <
      - Section (AssisBrasil\_Jari) <-> (AssisBrasi
      - Section (AssisBrasil\_Bernardi) <-> (Assis
      - Section (AssisBrasil\_BezerraDeMenezes)
      - Section (AssisBrasil\_AdaoBaino) <-> (As
      - Section (AssisBrasil\_Acores) <-> (AssisB
      - Section (AssisBrasil\_JoaoZanenga) <-> (
      - Section (AssisBrasil\_Andaraí) <-> (Assis
      - Section (AssisBrasil\_DomDiogoDeSouza)
      - Section (AssisBrasil\_CristovaoPereira) <
      - Section (AssisBrasil\_Alianca) <-> (AssisE
      - Section (AssisBrasil\_Umbu) <-> (AssisBr

Laneset edit

ID

Position in the section (1=leftmost)

Start Node

End Node

Turning Probabilities

	Destination	Probabil
1	120 ('AssisBrasil_Mali -> AssisB	7
2	124 ('AssisBrasil_Mali -> AssisB	
3	361 ('AssisBrasil_Mali -> Mali(S	3

Create another lane

The screenshot shows the ITSUMO network editor interface. The main window title is "ITSUMO network editor [jvar/autofs/gauss/denise/workspace/itsumo2/input/net\_poa\_assisbrasil.xml]". The menu bar includes "File", "Edit", and "Help".

The left pane displays a tree view of the network structure:

- Network net\_poa\_assisbrasil
  - network
    - nodes
    - streets
    - sources
      - Located in node Acores(Source) (id 636)
      - Located in node AdaoBaino(Source) (id 626)
      - Located in node AlbertoSilva(Source) (id 627)
      - Located in node AlvarezCabral(Source) (id 628)
      - Located in node AntonioJoaquimMesquita(Source) (id 629)
      - Located in node AssisBrasil(Sink) (id 701)
      - Located in node AssisBrasil(Source) (id 618)
      - Located in node BennoMentz(Source) (id 620)
      - Located in node Bernardi(Source) (id 627)
      - Located in node Bogota(Source) (id 620)
      - Located in node CarneiroDaFontoura(Source) (id 624)
      - Located in node DoForte(Source) (id 624)
      - Located in node DomingosRubbo(Source) (id 624)
      - Located in node EdmundoBastian(Source) (id 624)
      - Located in node FernandoCortez(Source) (id 624)
      - Located in node FranciscoTrein(Source) (id 624)
      - Located in node JoaoWallig(Source) (id 633)
      - Located in node JoaoZanenga(Source) (id 633)
      - Located in node Panamericana(Source) (id 633)
      - Located in node Tapajos(Source) (id 741)
      - Located in node Umbu(Source) (id 635)
      - Located in node ZecaNeto(Source) (id 623)
    - sinks
    - traffic lights



The screenshot displays the ITSUMO network editor interface. The main window title is "ITSUMO network editor [jvar/autofs/gauss/denise/workspace/itsumo2/input/net\_poa\_assisbrasil.xml]". The menu bar includes "File", "Edit", and "Help".

The left sidebar shows a tree view of the network structure:

- network
  - nodes
  - streets
  - sources
  - sinks
    - Located in node AlbertoSilva(Sink) (id 643)
    - Located in node Alianca(Sink) (id 643)
    - Located in node AlvarezCabral(Sink) (id 643)
    - Located in node Andaraí(Sink) (id 656)
    - Located in node AssisBrasil(N) (id 658)
    - Located in node AssisBrasil(Sink) (id 749)
    - Located in node AssisBrasil(Source) (id 749)
    - Located in node BentoMentz(Sink) (id 658)
    - Located in node BezerraDeMenezes(Sink) (id 643)
    - Located in node CostaRica(Sink) (id 641)
    - Located in node CostaRica(Sink) (id 660)
    - Located in node CristovaoPereira(Sink) (id 642)
    - Located in node DoForte(Sink) (id 642)
    - Located in node DomDiogoDeSouza(Sink) (id 642)
    - Located in node DomingosRubbo(Sink) (id 642)
    - Located in node EnesBandeira(Sink) (id 642)
    - Located in node FernandoCortez(Sink) (id 642)
    - Located in node FranciscoTrein(Sink) (id 642)
    - Located in node Itapeva(Sink) (id 651)
    - Located in node Itarare(Sink) (id 730)
    - Located in node Jari(Sink) (id 664)
    - Located in node JoaoZanenga(Sink) (id 642)
    - Located in node Mali(Sink) (id 639)
    - Located in node Panamericana(Sink) (id 642)
    - Located in node RoqueCaiaque(Sink) (id 642)
    - Located in node Tapajos(Sink) (id 742)

The right sidebar, titled "Sink edit", shows configuration for the selected sink:

- ID: 640
- First activation in iteration (...): 0
- Removal probability: 1.0
- Node: AlbertoSilva(Sink)
- Source laneset: 378 ('AlbertoSilva(S) -> AlbertoSilva(S)')

At the bottom of the "Sink edit" panel, there is a button labeled "Create another sink".

ITSUMO network editor [jvar/autofs/gauss/denise/workspace/itsumo2/input/net\_poa\_assisbrasil.xml]

File Edit Help

Network net\_poa\_assisbrasil

- network
  - nodes
  - streets
  - sources
  - sinks
  - traffic lights
    - Located in node AssisBrasil\_AlbertoSilva (id 68)
    - Located in node AssisBrasil\_AntonioJoaquimMe
    - Located in node AssisBrasil\_BennoMentz (id 69)
    - Located in node AssisBrasil\_Bernardi (id 68)
    - Located in node AssisBrasil\_Bogota (id 690)
    - Located in node AssisBrasil\_CarneiroDaFontou
    - Located in node AssisBrasil\_DoForte (id 57)
    - Signalplan 1 (2 phases)
    - Signalplan 2 (2 phases)
    - Located in node AssisBrasil\_DomingosRubbo

Signal plan edit

Signalplan ID

Phases

<input type="text" value="1"/>	Add phase	Selected phase duration
<input type="text" value="2"/>	Remove phase	<input type="text" value="20"/>

Additional signalplan information

Incoming lanes Outgoing lanesets

# Tráfego Avenida Assis Brasil

- ▶ Número elevado de semáforos
- ▶ Problemas de sinalização
- ▶ Via de acesso a municípios da região metropolitana
- ▶ Densidade constantemente elevada



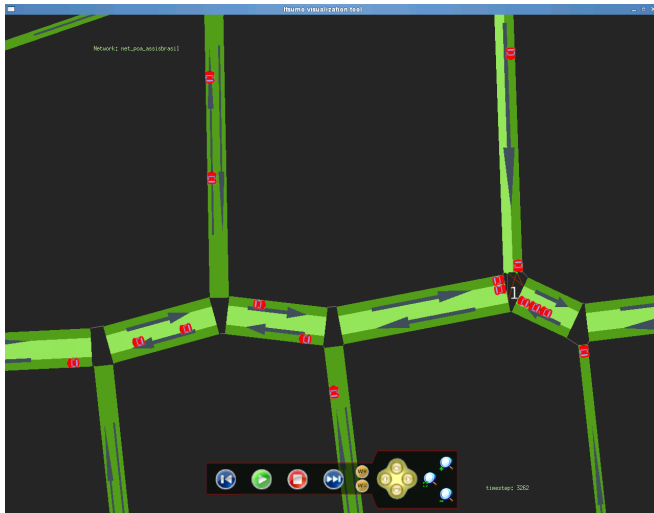
# Trecho Representado



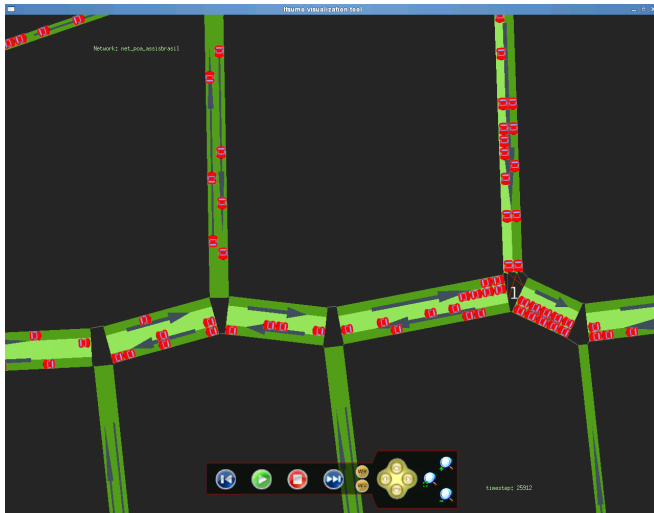
# Parâmetros Utilizados

- ▶ 86400 Steps - 1 dia
  - ▶ 25200 - (00:00 - 07:00)H - 0.05
  - ▶ 7200 - (07:00 - 09:00)H - 0.40
  - ▶ 9000 - (09:00 - 11:30)H - 0.10
  - ▶ 7200 - (11:30 - 13:30)H - 0.20
  - ▶ 12600 - (13:30 - 17:00)H - 0.10
  - ▶ 10800 - (17:00 - 20:00)H - 0.40
  - ▶ 14000 - (20:00 - 24:00)H - 0.05

# (00:00 - 07:00)H - Probabilidade Variável: 0.05

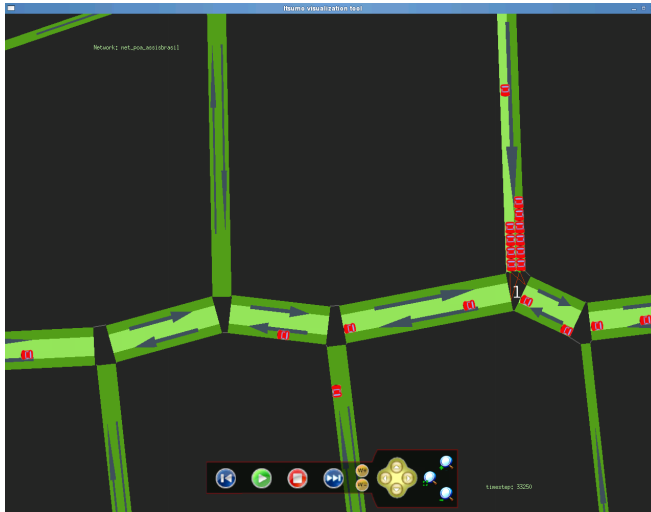


# (07:00 - 09:00)H - Probabilidade Variável: 0.40

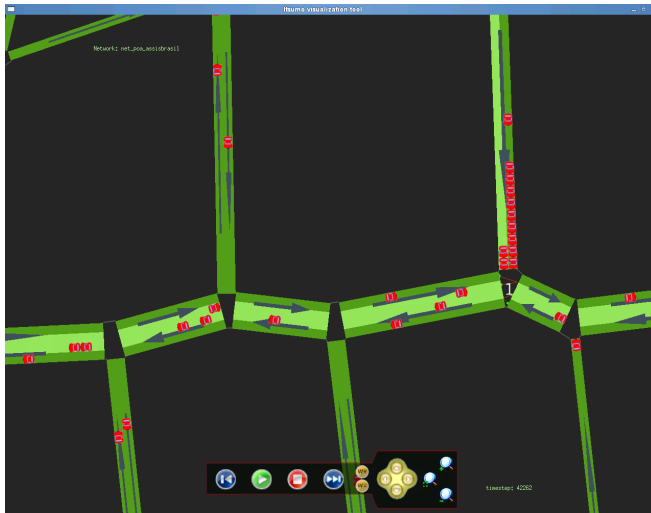




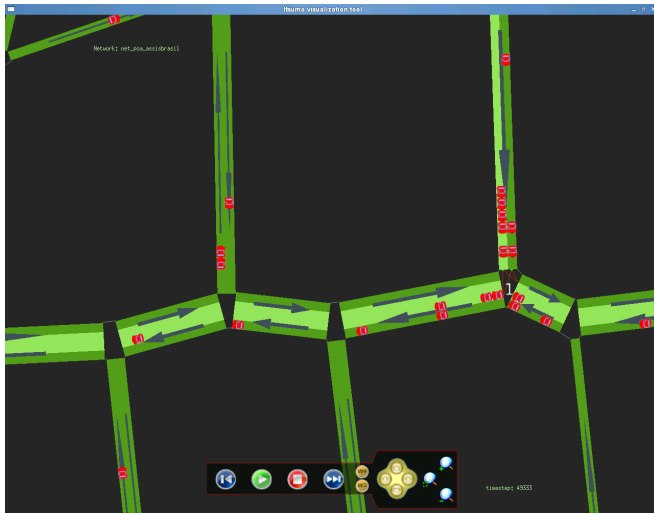
# (09:00 - 11:30)H - Probabilidade Variável: 0.10



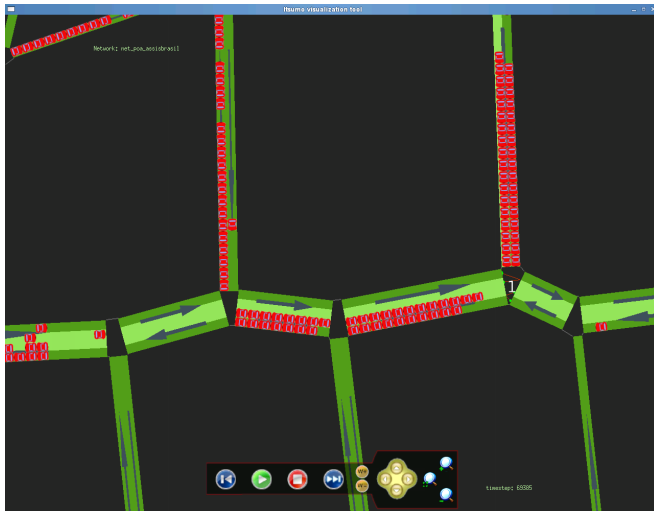
# (11:30 - 13:30)H - Probabilidade Variável: 0.20



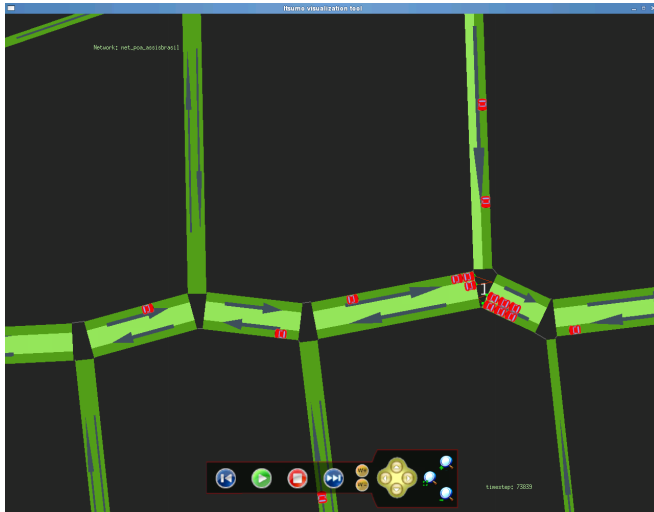
# (13:30 - 17:00)H - Probabilidade Variável: 0.10



# (17:00 - 20:00)H - Probabilidade Variável: 0.40



# (20:00 - 24:00)H - Probabilidade Variável: 0.05



# Vídeo de demonstração do simulador



# Porque aplicar **Inteligência Artificial** neste problema?

- ▶ A Inteligência Artificial visa a criação de soluções capazes de **detectar** e **solucionar** problemas de modo **autônomo**
- ▶ O Controle de Tráfego Veicular Urbano possui diversas características interessantes

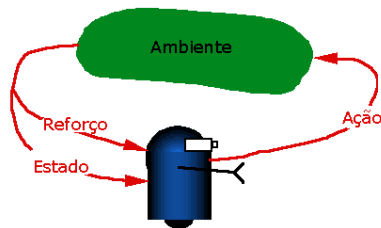
## Análise do Problema de controle de tráfego

Característica	<b>Tráfego</b>
Num. de agentes	1 a muitos
Agentes no time	Hetero-/Homogêneo
Planejamento	Envolvido
Colab. emergente	Importante
Tempo-Real	Seg. - Min.
Acesso a Info.	Muito Ruim/Boa
Ambiente	Dinâmico
Controle	Distribuído/Semi-Centralizado/Central
Cooperação	Restrita



# Aprendizado por Reforço

- ▶ O Agente aprenda partir de suas **experiências**:
  - ▶ Recebe uma indicação de **qualidade** instantânea para cada decisão  $\Rightarrow$  **signal de recompensa**



# Aprendizado por Reforço

- ▶ Algoritmos para **aprendizado por reforço**
  - ▶ Dada a **descrição de um mundo**, aprendem como agir da maneira ótima
    - ▶ lista de **ações** possíveis;
    - ▶ indicação de qualidade de cada ação, em cada situação ⇒ sinal de **recompensa** para cada ação, em cada estado
  - ▶ Dando isso damos tempo para o agente **praticar e aprender** (**tentativa-e-erro**)!

# Q-Learning

- ▶ Calcula a **qualidade** de estar em cada **estado**
- ▶ calcula um valor  $Q(s, a)$ , para cada  $s$  e cada  $a$
- ▶ “o quão bom é fazer essa ação, nesse estado”
- ▶ O agente percebe seu estado  $s$ , escolhe uma ação  $a$  e recebe a recompensa  $r$
- ▶ Atualiza sua estimativa de  $Q$  para  $\langle s, a \rangle$
- ▶ 
$$Q(s, a) = (1 - \alpha)Q(s, a) + \alpha \left( r + \gamma \max_{a'} Q(s', a') \right)$$

## Aprendizado por reforço Multiagente

- ▶ O agente busca resolver o problema enquanto **outros agentes** estão no ambiente tentando resolver seus problemas de aprendizado (sendo ou não relacionados)



# Aprendizado multiagente aplicado ao controle

Possibilidades de aplicação de aprendizado:

- ▶ **Independente**: considerando os demais semáforos parte do ambiente
- ▶ **Cooperativo**: modelando ações dos demais agentes e/ ou trocando informações

## Aprendizado multiagente aplicado ao controle (cont.)

### Aprendizado multiagente:

- ▶ **Ações conjuntas:** conjunto de agentes que executam ações de modo coordenado.
- ▶ **Reforço conjunto:** todos os agentes recebem o mesmo valor de recompensa
- ▶ **Reforço individual:** cada ag. recebe uma recompensa local
- ▶ **Problema:** conflitos em relação a possíveis prioridades!

## Aprendizado multiagente aplicado ao controle (cont.)

### Aprendizado **independente**:

- ▶ Considera somente uma visão local (Oliveira et al. 2006)
- ▶ **Problemas**:  
O ótimo local não é necessariamente o global  
Não há um objetivo de coordenação (ex: **onda verde**)

# Aprendizado multiagente aplicado ao controle (cont.)

## Aprendizado multiagente:

- ▶ Formas de cooperação possíveis: troca de informações e ações conjuntas
- ▶ Troca de **informação** entre semáforos próximos assim a ação do agente depende do seu estado e do estado de alguns outros agentes (Oliveira and Bazzan 2009)



# Aprendizado com cooperação oportunística

## Motivação:

- ▶ A maioria das abordagens existentes **não trata** as seguintes questões
  - ▶ Número grande de agentes
  - ▶ Grupos que mudam de modo dinâmico
  - ▶ Ambientes dinâmicos
  - ▶ Times heterogêneos

# Objetivo

Propor uma abordagem de **aprendizado multi-agente** onde:

- ▶ **Não seja** necessário conhecimento **prévio** dos estados coordenados

# Objetivo

Propor uma abordagem de **aprendizado multi-agente** onde:

- ▶ **Não seja** necessário conhecimento **prévio** dos estados coordenados
- ▶ Os agentes possam agir de modo **independente** em partes do ambiente

# Objetivo

Propor uma abordagem de **aprendizado multi-agente** onde:

- ▶ **Não seja** necessário conhecimento **prévio** dos estados coordenados
- ▶ Os agentes possam agir de modo **independente** em partes do ambiente
- ▶ As relações de **inter-dependência** são aprendidas de modo autônomo

# Objetivo

Propor uma abordagem de **aprendizado multi-agente** onde:

- ▶ **Não seja** necessário conhecimento **prévio** dos estados coordenados  $\Rightarrow$  **Ambientes dinâmicos**
- ▶ Os agentes possam agir de modo **independente** em partes do ambiente
- ▶ As relações de **inter-dependência** são aprendidas de modo autônomo

# Objetivo

Propor uma abordagem de **aprendizado multi-agente** onde:

- ▶ **Não seja** necessário conhecimento **prévio** dos estados coordenados  $\Rightarrow$  **Ambientes dinâmicos**
- ▶ Os agentes possam agir de modo **independente** em partes do ambiente  $\Rightarrow$  **Numero grande de agentes**
- ▶ As relações de **inter-dependência** são aprendidas de modo autônomo

# Objetivo

Propor uma abordagem de **aprendizado multi-agente** onde:

- ▶ **Não seja** necessário conhecimento **prévio** dos estados coordenados ⇒ **Ambientes dinâmicos**
- ▶ Os agentes possam agir de modo **independente** em partes do ambiente ⇒ **Numero grande de agentes**
- ▶ As relações de **inter-dependência** são aprendidas de modo autônomo ⇒ **Times dinâmicos e heterogêneos**

## Modelo Proposto

- ▶ O agente inicia seu aprendizado utilizando um aprendizado por reforço simples (mono-agente)
- ▶ Ao longo de sua execução ele vai montando uma tabela  $Q$  do seguinte modo:
  - ▶ **Avalia** o resultado do par (estado,ação) quando for realizar uma próxima tarefa, caso encontre discrepâncias
  - ▶ Se o estado é individual então **busca a percepção** de outro agente:
  - ▶ Caso consiga receber a percepção, **adiciona** esse novo par estado (agora conjunto), ação a sua tabela...
  - ▶ caso a avaliação de um par com estado “aumentado” apresente discrepâncias então parte para a busca por **ação conjunta**



## Aprendizado dentro do domínio do tráfego

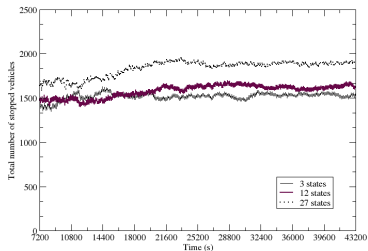
- ▶ Como ficariam as tabelas dinâmicas  $Q$  neste domínio?
- ▶ **Estados**: podem ser relativos ao tamanho das filas em cada direção, ou então na relação entre as filas (ex: estado 1 = fila norte maior que as demais filas)
- ▶ **Ações**: planos semaforicos, sendo que as ações conjuntas as que formem "onda verde" ou priorizem algum sentido específico de tráfego

## Aplicando a abordagem no controle de tráfego

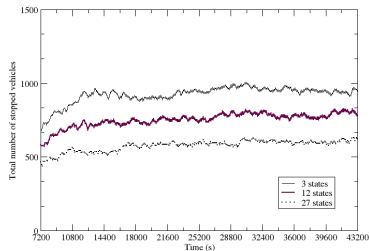
- ▶ Em **algumas situações** de tráfego os agentes **independentes** podem ter um bom desempenho
- ▶ Uma percepção incompleta pode significar **diferentes** padrões de tráfego após a **mesma** tomada de **decisão**  $\Rightarrow$  discrepância
- ▶ A área de comunicação pode ser definida como os agentes que estão **ligados** por alguma via

# Resultados Preliminares do uso de troca de informações

## Planos não coordenados



## Planos coordenados



## Conclusões Gerais

- ▶ O controle e simulação de tráfego veicular urbano é um problema desafiador para a computação;
- ▶ O simulador ITSUMO é uma plataforma **livre** de simulação de tráfego veicular;
- ▶ Diversas abordagens de controle e de rotas podem ser testadas com o uso de módulos externos.

## Conclusões sobre o aprendizado Multi-agente

- ▶ Há uma necessidade de um método de aprendizado capaz de lidar com **ambientes complexos** onde os agentes tem uma **percepção limitada** do ambiente
- ▶ A abordagem proposta busca uma **solução de compromisso** entre o aprendizado mono-agente e o aprendizado multi-agente
- ▶ Podem ser criados mecanismos para restringir o crescimento da tabela Q (ex: limitação no tamanho dos grupos)

## Referências:

- Oliveira and Bazzan 2009** Oliveira, D and Bazzan, A. L. C. 2009. *Multiagent Learning on Traffic Lights Control: effects of using shared information*. Multi-Agent Systems for Traffic and Transportation.
- Oliveira et al. 2006** Oliveira, D. and Bazzan, A. L. C. and Silva, B. C. and Basso, E. W. and Nunes, L. and Rossetti, R. J. F. and Oliveira, E. C. and Silva, R. and Lamb, L. C., 2006. *Reinforcement learning based control of traffic lights in non-stationary environments: a case study in a microscopic simulator*. Proceedings of the 4th European Workshop on Multi-Agent Systems, (EUMAS06). December. 31-42.



*Obrigada!*

## Simulação e controle inteligente de tráfego veicular urbano

Denise de Oliveira

`denise.oliveira@inf.ufrgs.br`

Mais informações: [www.inf.ufrgs.br/maslab](http://www.inf.ufrgs.br/maslab)