

# MODELO DE DENSIDADE DE PEDESTRES PARA A SIMULAÇÃO DE MULTIDÕES EM SITUAÇÃO DE TRÁFEGO URBANO

VAGNER PINTO DA SILVA\*, PAULO ROBERTO FERREIRA JR.\*

*\*Centro de Desenvolvimento Tecnológico  
Universidade Federal de Pelotas  
Caixa Postal 354, CEP 96001-970  
Pelotas, RS, Brasil*

Emails: vpdsilva@inf.ufpel.edu.br, paulo@inf.ufpel.edu.br

**Abstract**— This paper presents a novel model for crowd movement simulation in urban traffic situations based on multiagent simulation, called Pedestrian Density Model. This model aims to allow the execution of this kind of simulation in cellular-automata based simulators where the lower granularity is the vehicle. The proposed model was based on the Social Force Model which has been successfully used to model crowds indoor with the lower granularity of a pedestrian. In order to validate the Pedestrian Density Model several runs of simulations was executed with different situations. The achieved results shown that the densities in the street lanes using the Social Force Model and the proposed model are equivalents.

**Keywords**— Intelligent agents and multiagent systems, Urban traffic simulation, Social Force Model, Crowd simulation

**Resumo**— Este artigo apresenta um modelo inédito de simulação multiagente para a movimentação de multidões de pedestres em situações de tráfego urbano, denominado Modelo de Densidade de Pedestres. Este modelo objetiva permitir que este tipo de simulação possa ser executada em simuladores de tráfego baseados em autômatos celulares cuja menor granularidade é um veículo. O modelo proposto foi concebido com base no Modelo de Forças Sociais que vem sendo utilizado com sucesso para representar pessoas deslocando-se em ambientes fechados usando como menor granularidade um pedestre. Para validar o Modelo de Densidade de Pedestres foram realizados diversos experimentos com diferentes cenários e obteve-se resultados equivalentes com o modelo proposto e com o Modelo de Forças Sociais.

**Palavras-chave**— Agentes inteligentes e sistemas multiagentes, Simulação de tráfego urbano, Modelo de Forças Sociais, Simulação de multidões

## 1 Introdução

A realização de grandes eventos, como a copa do mundo e as olimpíadas, que acontecerão no Brasil nos próximos anos, demanda dos pesquisadores uma série de reflexões sobre os temas que se apresentam correlacionados a este tipo de acontecimento. Entre eles, pode-se destacar a dinâmica da mobilidade urbana nas proximidades onde estes são realizados, como a movimentação de multidões de pedestres nas vias públicas. Alguns autores como Henderson (1971) e Helbing et al. (2001), que se dedicaram a observar multidões de pessoas, identificaram algumas características qualitativas recorrentes de seu comportamento. Algumas delas relacionadas a fatores internos inerentes a conduta de cada indivíduo. Outras, a padrões nas dimensões de espaço e tempo que emergem na multidão quando esta é observada como um todo.

Na tentativa de criar um modelo abrangente o suficiente que respondesse a estas duas situações, Helbing and Molnár (1995) propuseram como solução para a simulação da movimentação de pedestres o modelo de Forças Sociais. As características do modelo de Forças Sociais coloca-o como uma alternativa amplamente utilizada para a simulação computacional da movimentação de pedestres. Trabalhos recentes, como o de Saboia (2010), utilizam o modelo de Forças Sociais para

simular a movimentação de multidões de pedestres em situações diversas como, por exemplo, a evacuação de prédios. Diferentemente do trabalho de Saboia (2010), que se concentra em cenários com exclusividade para pedestres e em ambientes fechados, este trabalho trata o deslocamento de multidões em vias públicas e sua interação com veículos.

A simulação de tráfego veicular tem sido objeto de estudo de muitos trabalhos já há bastante tempo. Um modelo microscópico para simulação de tráfego veicular baseado em autômatos celulares foi proposto por Nagel, K. and Schreckenberg, M. (1992) com o objetivo de fazer emergir, da interação entre os elementos do modelo, o comportamento macroscópico das situações de tráfego. Este modelo tem sido adotado pela comunidade de sistemas multiagentes e foi utilizado no desenvolvimento do simulador ITSUMO (Intelligent Transportation System for Urban MObility) (Bazzan et al., 2010). Este simulador foi concebido dada a falta de simuladores não-comerciais totalmente baseado em agentes. Simuladores deste tipo permitem o uso da inteligência artificial para apoiar o tratamento dos crescentes problemas de mobilidade urbana, possibilitando, por exemplo, o emprego de aprendizado por reforço para a organização dos semáforos e o planejamento de rotas.

Este trabalho objetiva incorporar ao simula-

o ITSUMO a possibilidade de simular o deslocamento de multidões de pedestres em vias públicas e sua interação com o ambiente de tráfego urbano, como semáforos e veículos. Com isso, propõe-se expandir as experiências de Saboia (2010) com simulação multidões de pedestres em locais fechados, para a simulação destas multidões em ambientes de tráfego veicular na dinâmica da mobilidade urbana. Para isso, foi necessário conceber um modelo inédito baseado em agentes que captura a dinâmica do modelo de Forças Sociais, que tem o pedestre como granularidade mínima, e a transporta para um modelo baseado em autômatos celulares, que tem como menor granularidade células da largura de um veículo. Se for considerada uma célula com esta largura e com um metro de comprimento, pode-se ter até 20 pedestres nesta área dependendo da situação em que estes se encontrarem.

As demais seções deste artigo estão organizadas da seguinte forma: na Seção 2 é apresentada a fundamentação teórica deste trabalho; a seção 3 apresenta o Modelo de Densidade de Pedestres, proposto neste trabalho; Na seção 4 é discutida a validação do modelo; e, ao final, na seção 5, são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 Fundamentação Teórica

Entende-se como multidão de pedestres um grande grupo de indivíduos em um mesmo ambiente físico, compartilhando um objetivo comum, podendo agir diferentemente do que quando estão sozinhos (Saboia, 2010). Tal fenômeno é decorrente das iterações e das influências que cada indivíduo estabelece com o meio durante sua tentativa de circulação. Na movimentação de uma multidão de pedestres se estabelece uma complexa inter-relação entre os fatores próprios de cada indivíduo, como, personalidade, motivação e percepção, e os fatores externos a eles, que são coexistentes na interação de elementos do ambiente com o indivíduo, como a estrutura física onde ocorre esta movimentação.

Uma questão relevante para o modelo proposto neste trabalho é a taxa de ocupação típica, que se trata da quantidade de pessoas por metro quadrado que tipicamente são observadas em multidões de pedestres, em ambientes abertos ou confinados. Segundo Rizzo (2006), considerando ambientes abertos e indivíduos adultos de estatura média, é praticamente impossível atingir a taxa de 10 *pessoas/m<sup>2</sup>*. Densidades de 9 *pessoas/m<sup>2</sup>* e 8 *pessoas/m<sup>2</sup>* ocorrem, excepcionalmente, em veículos do transporte coletivo superlotados ou em condições excepcionais, como a saída de estádios de futebol, por exemplo. Quando a taxa observada é de 7 *pessoas/m<sup>2</sup>* é possível notar que as pessoas ficam sem mobilidade.

Comportamentos de multidões podem ser observados e descritos por meio de grandezas macroscópicas, como médias de velocidades, densidades, fluxos e pressão, ou por meio de grandezas microscópicas, como a exata posição e velocidade de cada indivíduo em um determinado momento. Na escala microscópica, o modo como as interações entre os indivíduos se dá acaba afetando as grandezas macroscópicas. Consequentemente, existem duas filosofias fundamentalmente distintas para a modelagem do movimento de multidões, de acordo com as escalas de descrição mencionadas: a abordagem macroscópica e a abordagem microscópica. Esta última, dada a abordagem multiagente adotada, é a utilizada neste trabalho.

Dentre as abordagens microscópicas, destaca-se o Modelo de Forças Sociais pela sua reconhecida fidelidade as situações reais. A origem do Modelo de Forças Sociais teve inspiração no trabalho de um psicólogo que, entre outras coisas, identificou que o comportamento dos pedestres torna-se automático e previsível quando confrontados com situações de locomoção já vivenciadas. Admitindo isso, Helbing and Molnár (1995) propuseram um modelo matemático para descrever a locomoção de multidões de pedestres, como se estes estivessem sendo governados, um a um, por uma “Força Social” em um espaço bidimensional. Isso ocorreria de tal forma que esta força pudesse representar o efeito do ambiente como, por exemplo, a de outros pedestres e obstáculos sobre o comportamento do pedestre. Em termos físicos, a “Força Social” é na verdade a resultante da interação que surge da influência de uma série de forças, representadas por três forças principais: Força Desejo, Força de Interação e Força de Repulsão. Este modelo foi utilizado como base para a concepção do modelo proposto neste trabalho como será discutido mais adiante.

O simulador ITSUMO (Silva et al., 2006; Bazzan et al., 2010) caracteriza-se por ser um simulador de tráfego veicular implementado através de um modelo baseado em autômatos celulares. O simulador ITSUMO tem como base o modelo proposto por Nagel, K. and Schreckenberg, M. (1992) que descreve o comportamento microscópico de veículos se movimentando em vias de tráfego. No ITSUMO um veículo é representado por uma ou mais células do autômato, que representam única e exclusivamente o comprimento do veículo. Neste simulador, e seu respectivo modelo, a dimensão de largura não é representada. De uma maneira mais abstrata, cada veículo terá a largura da faixa de rolamento. Assim, este tipo de simulador não é capaz de lidar com a escala do pedestre, justificando a necessidade de um modelo de escala intermediária que possa representar grupos de pedestres de uma maneira tão fiel quanto o faria o Modelo de Forças Sociais.

### 3 Modelo de Densidade de Pedestres

O modelo apresentado neste trabalho, intitulado Modelo de Densidade de Pedestres, foi estabelecido empiricamente e é resultado de uma análise quali-quantitativa criteriosa sobre o comportamento da densidade de pedestres em dois tipos de situações, com e sem a presença de obstáculos. Foi desenvolvido um simulador computacional baseado no modelo de Forças Sociais onde foram executadas diversas rodadas de simulação com taxas de entrada de pedestres condizentes com as taxas de ocupações típicas comentadas na seção anterior.

A partir disso, foram coletados inúmeros dados referentes a densidade da via em diferentes lugares de acordo com a possível posição de um agente que representa um grupo de pedestres transitando sobre essa via. Vários comportamentos padrão foram verificados nos dados observados e permitiram o desenvolvimento de um conjunto de equações que captura as diferentes densidades de pedestres em uma via de acordo com o deslocamento da multidão.

Este conjunto de equações é utilizado por agentes, em um sistema multiagentes, que passam a se comportar como grupos de pessoas em uma multidão. Um agente  $k$  no modelo de densidades é um tipo particular de agente reativo, que percebe o ambiente, se comunica com outros agentes, se desloca em um ambiente representado por um autômato celular e tem como principal atributo a densidade de pedestres da área que este ocupa no modelo, dada por  $D_k(t)$ .

A densidade de um agente  $D_k(t)$  no instante  $t$  é calculada pela Equação 1, onde  $T_k^p(t)$  é o total de pedestres na área  $A_k$  ocupada pelo agente; e  $A_k$  é a área ocupada pelo agente.

$$D_k(t) = \frac{T_k^p(t)}{A_k} \quad (1)$$

A área ocupada pelo agente  $A_k$  é dada pela multiplicação da largura  $L_k$  e comprimento  $C_k$  da célula que ele ocupa, os quais são parâmetros definidos em função do simulador onde este modelo será implementado. Cada agente recebe uma quantidade de pedestres  $Q_{in}(t)$  em cada rodada da simulação, onde  $Q_{in}(t) \geq 0$ . Com isso, cada um determina sua taxa de desova  $O_k(t)$ , que é calculada em função de quantos pedestres  $Q_{in}(t)$  são recebidos pelo agente a cada segundo. A quantidade de pedestres que o agente passará para seus vizinhos, dependendo de sua posição, é dada por  $Q_{out}(t)$  e é determinada como a diferença entre sua quantidade de pedestres no tempo corrente  $T_k^p(t)$  e no tempo anterior a este  $T_k^p(t-1)$ , sendo  $Q_{out}(t) \geq 0$ .

A taxa de desova  $O_k(t)$  é utilizada para que o agente determine seu total de pedestres em cada instante da simulação  $T_k^p(t)$ . Este total é depen-

dente da posição do agente na via em relação a obstáculos comuns ao tráfego urbano (e.g. carros, bloqueios, etc.) e em relação ao tempo necessário para que o primeiro pedestre se desloque para fora da área  $A_k$  ocupada pelo agente.

Quando um agente não possui nenhum obstáculo a sua frente, seu total de pedestres  $T_k^p(t)$  é calculado pela Equação 2, onde  $O_k(t)$  é a taxa de desova do agente;  $\bar{V}_k^p$  é a velocidade média dos pedestres na área ocupada pelo agente;  $C_k$  é o comprimento da área ocupada pelo agente; e  $t_{out}^p$  é o tempo necessário para que um pedestre saia da área ocupada pelo agente.

$$T_k^p(t) = \begin{cases} \lfloor \frac{t}{1/O_k(t)} \rfloor & \text{se } t \leq t_{out}^p \\ \lfloor O_k(t) * \frac{C_k}{\bar{V}_k^p} \rfloor & \text{se } t > t_{out}^p \end{cases} \quad (2)$$

Como os pedestres se deslocam com uma velocidade média constante dada pela configuração da simulação de acordo com o cenário que se quer estudar, o tempo necessário para que os pedestres saiam da área ocupada pelo agente  $t_{out}^p$  é dado pelo comprimento  $C_k$  desta área dividido pela velocidade média de deslocamento dos pedestres  $\bar{V}_k^p$ .

Quando um agente está posicionado imediatamente antes de um obstáculo ou quando um agente está posicionado na diagonal anterior de um obstáculo, ou seja, este obstáculo está a sua frente mais à direita ou à esquerda, seu total de pedestres  $T_k^p(t)$  é calculado pela Equação 3, onde:  $O_k(t)$  é a taxa de desova do agente;  $\bar{V}_k^p$  é a velocidade média dos pedestres na área ocupada pelo agente;  $C_k$  é o comprimento da área ocupada pelo agente;  $t_{out}^p$  é o tempo necessário para que um pedestre saia da área ocupada pelo agente;  $Q_{in}(t)$  é quantidade de pedestres recebida pelo agente;  $Q_{out}(t)$  é quantidade de pedestres que o agente repassará para seus vizinhos;  $\omega$  é uma constante determinada empiricamente que define o intervalo de tempo necessário para que a quantidade de pedestres na área ocupada pelo agente se estabilize; e  $\delta_{in}$  e  $\delta_{out}$  são duas constantes também empiricamente determinadas que são utilizadas para regular a quantidade de pedestres de acordo com a posição do agente em relação ao obstáculo.

$$T_k^p(t) = \begin{cases} \lfloor \frac{t}{1/O_k(t)} \rfloor & \text{se } t \leq t_{out}^p \\ \lfloor O_k(t) * \frac{C_k}{\bar{V}_k^p} + \sum_{t=t_{out}^p}^{t-1} Q_{in}(t) * \delta_{in} - Q_{out}(t) * \delta_{out} \rfloor & \text{se } t > t_{out}^p \text{ e } t \leq \omega \\ \lfloor O_k(t) * \frac{C_k}{\bar{V}_k^p} \rfloor & \text{se } t > t_{out}^p \text{ e } t \leq \omega \end{cases} \quad (3)$$

Quando um agente está posicionado ao lado de um obstáculo ou imediatamente após o obstáculo, seu total de pedestres  $T_k^p(t)$  é calculado pela seguinte Equação 4, onde  $O_k(t)$  é a taxa de desova do agente;  $\bar{V}_k^p$  é a velocidade média dos pedestres

na área ocupada pelo agente;  $C_k$  é o comprimento da área ocupada pelo agente;  $t_{out}^p$  é o tempo necessário para que um pedestre saia da área ocupada pelo agente;  $\delta_{in}$  é uma constante empiricamente determinada utilizada para regular a quantidade de pedestres de acordo com a posição do agente em relação ao obstáculo.

$$T_k^p(t) = \begin{cases} \lfloor \frac{t}{1/O_k(t)} \rfloor & \text{se } t \leq t_{out}^p \\ \lfloor O_k(t) * \frac{C_k}{\bar{V}_k^p} * \delta_{in} \rfloor & \text{se } t > t_{out}^p \end{cases} \quad (4)$$

#### 4 Experimentos e Validação

Para validar o modelo proposto neste trabalho foi construído um simulador capaz de simular, ao mesmo tempo, a movimentação de pedestres com base no Modelo de Forças Sociais e no Modelo de Densidade de Pedestres. Desta forma, foi possível comparar os resultados produzidos por estes dois modelos em uma mesma rodada de simulação. Foram construídos alguns cenários de simulação onde se considera o movimento da multidão em uma via pública em diferentes situações de deslocamento, mais especificamente com a movimentação de pedestres em uma única direção e em contra fluxo. Para ambas as situações foram considerados cenários com e sem a presença de obstáculos que são usados aqui para representar, por exemplo, carros na via.

Todas as simulações utilizam como cenário uma via de 30m de comprimento com duas pistas de 2,5m de largura cada. Foram realizados experimentos com e sem obstáculos na via. As constantes das equações do Modelo de Forças Sociais (Helbing and Molnár, 1995) tem seus parâmetros configurados como  $A = 12$ ,  $B = 0,20$ ,  $U = 12$ ,  $\lambda = 1,00$ ,  $v_{di}^\alpha = 1,60$ ,  $C = 1$  e  $\tau = 0,10$ , e as taxas de desova nos agentes dos extremos das vias no Modelo de Densidades de Pedestres foram variadas sendo  $O_k(t) = 14, 18, 22, 26, 30$  pessoas/s.

Neste artigo, dada a limitação de espaço, serão discutidos os resultados para a taxa de desova  $T_k^p(t) = 14$  pessoas/s. Os resultados obtidos com esta taxa de desova e os obtidos com as demais taxas têm comportamento absolutamente equivalente em cada situação modelada, não prejudicando a demonstração da validação que se pretende fazer aqui.

Neste trabalho adotou-se a velocidade média de deslocamento dos pedestres como sendo  $\bar{V}_k^p = 1,6$ m/s com o objetivo de capturar o comportamento de uma multidão dispersando-se sem pânico. Com isso, a janela de estabilização  $\omega$  foi determinada como tendo 17s e as constantes  $\delta_{in}$  e  $\delta_{out}$  têm valores diferentes em cada equação do modelo, sendo: na Equação 3,  $\delta_{in} = 1$  e  $\delta_{out} = 0,66$ , se o agente está diante de um obstáculo, e  $\delta_{in} = 1,2$  e  $\delta_{out} = 1,1$ , se o agente está na diagonal de um obstáculo; e na Equação 4,

$\delta_{in} = 0,6$ , se o agente é imediatamente posterior a um obstáculo, e  $\delta_{in} = 1,5$ , caso o agente esteja ao lado de um obstáculo.

Para a realização das análises as densidades das áreas equivalentes a cada agente foram medidas utilizando o Modelo de Forças Sociais e puderam ser diretamente comparadas com a densidade dos agentes no Modelo de Densidade de Pedestres, como será visto a seguir.

##### 4.1 Movimentação Sem Obstáculos

Esta seção apresenta os resultados dos experimentos que não envolveram a presença de obstáculos. Considerou-se aqui uma multidão se deslocando em um sentido da via e duas multidões deslocando-se em sentidos contrários, cruzando-se em uma mesma via. A Figura 1 mostra uma imagem da via utilizada nos experimentos com o Modelo de Forças Sociais sendo executado para as duas multidões deslocando-se em sentidos contrários. Os círculos representam diferentes pedestres e a cor destes representa a multidão a que o pedestre pertence.

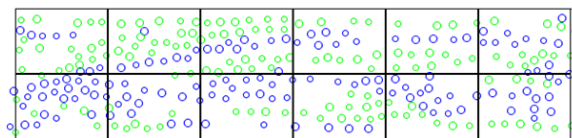


Figura 1: Imagem de um instante da simulação do Modelo de Forças Sociais sem obstáculos e com duas multidões deslocando-se em sentido contrário.

As Figuras 2 e 3 apresentam a densidade de pedestres em toda a via a medida que transcorre o tempo da simulação para o cenário com uma e com duas multidões em sentidos contrários, respectivamente. Como se pode ver, mesmo quando se tem uma situação extrema, com duas multidões deslocando-se em sentido contrário, o Modelo de Densidade de Pedestres reflete a movimentação das densidades de pedestres do Modelo de Forças Sociais, com um erro menor que um pedestre por metro quadrado.

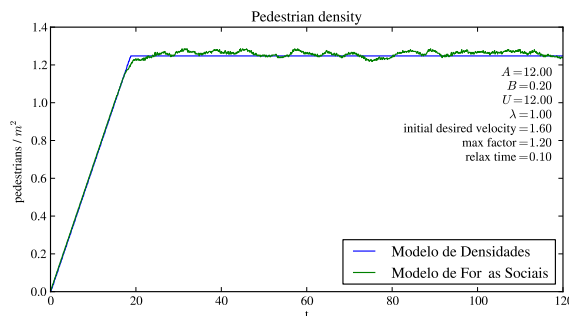


Figura 2: Comparando a densidade da via com uma multidão e sem obstáculos.

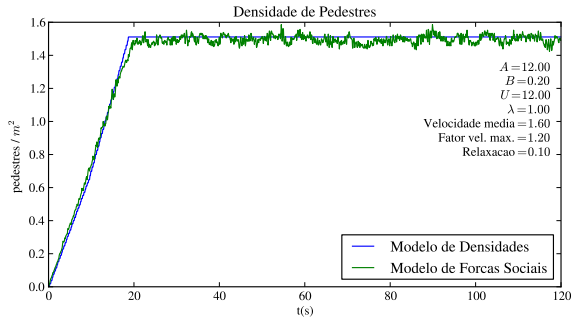


Figura 3: Comparando a densidade da via com duas multidões deslocando-se em sentido contrário e sem obstáculos.

A Figura 4 mostra a variação das densidades no Modelo de Forças Sociais e no Modelo de Densidades de Pedestres para a área representada por um dos agentes localizado no centro da via. Pode-se ver que, quando se observa cada agente individualmente, tem-se também densidades equivalentes nos dois modelos. O cálculo da quantidade de pedestres em cada área separadamente para o Modelo de Forças Sociais, como o mostrado na figura 4, apresenta uma certa instabilidade que pode ser claramente vista no gráfico. Isto acontece pois um pedestre pode estar na divisa entre duas áreas e ser computado no cálculo da área de um agente ou de outro em cada tempo  $t$  dependendo de onde se encontra a maior área do círculo que o representa neste tempo.

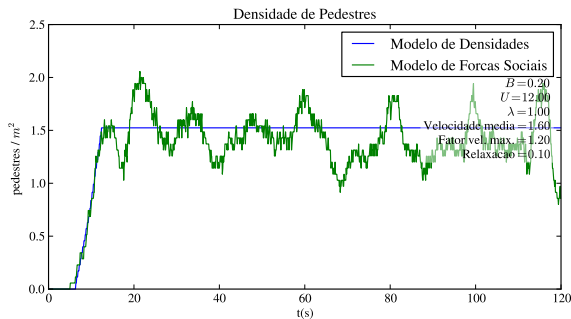


Figura 4: Comparando a densidade de um agente no centro da via com duas multidões deslocando-se em sentido contrário e sem obstáculos.

#### 4.2 Movimentação Com Obstáculos

Um obstáculo tem intenção de representar a presença de veículos ou qualquer outro artefato em uma área que dificulte a locomoção da multidão de pedestres. A Figura 5 mostra uma imagem da via utilizada nos experimentos com o Modelo de Forças Sociais sendo executado para as duas multidões deslocando-se em sentidos contrários com a presença de um carro parado.

As Figuras 6 e 7 apresentam a densidade de pedestres em toda a via a medida que transcorre

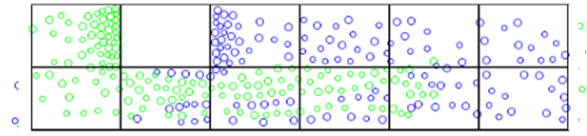


Figura 5: Imagem de um instante da simulação do Modelo de Forças Sociais com um obstáculo e com duas multidões deslocando-se em sentido contrário.

o tempo da simulação para o cenário com uma e com duas multidões em sentidos contrários, respectivamente, com a presença de um obstáculo. Como pode ser observado na comparação entre as densidades na via obtidas pelos dois modelos que o Modelo de Densidade de Pedestres acompanha os valores de densidade do Modelo de Forças Sociais, mesmo no caso extremo de duas multidões se deslocando em sentidos contrários, com um erro também menor que de um pedestre por metro quadrado.

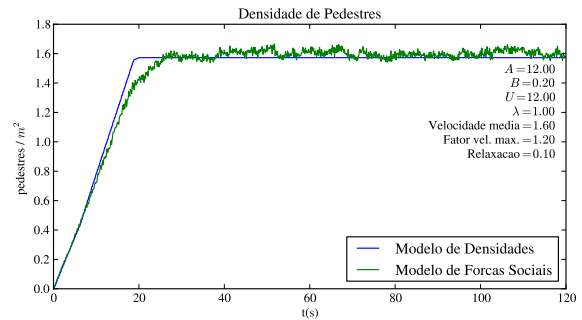


Figura 6: Comparando a densidade da via com uma multidão e com um obstáculo.

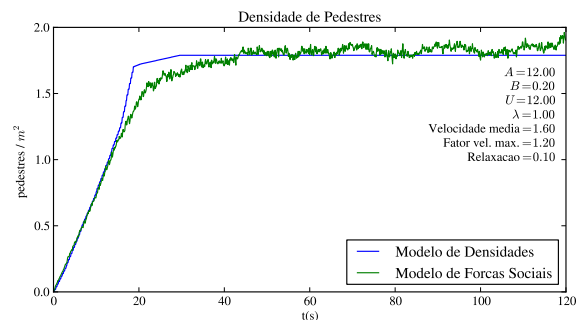


Figura 7: Comparando a densidade da via com duas multidões deslocando-se em sentido contrário e com obstáculo.

Esse mesmo comportamento também é observado em cada agente da simulação, onde a densidade de cada agente é aproximadamente a mesma nos dois modelos, considerando-se a limitação comentada na seção anterior quanto a instabilidade da medida da densidade por área no Modelo de Forças Sociais. As Figuras 8 e 9 apresentam as

densidades em relação ao tempo da simulação dos agentes próximos ao obstáculo, antes e depois, respectivamente, para o cenário com duas multidões deslocando-se em sentido contrário.

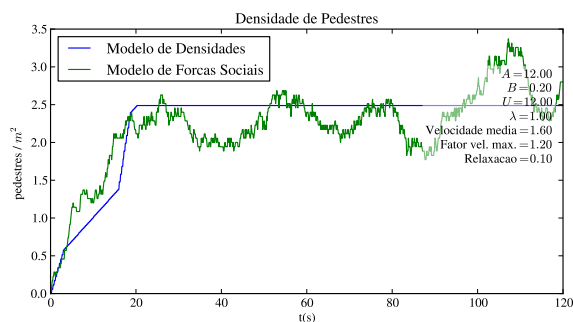


Figura 8: Comparando a densidade do agente a esquerda do obstáculo com duas multidões deslocando-se em sentido contrário.

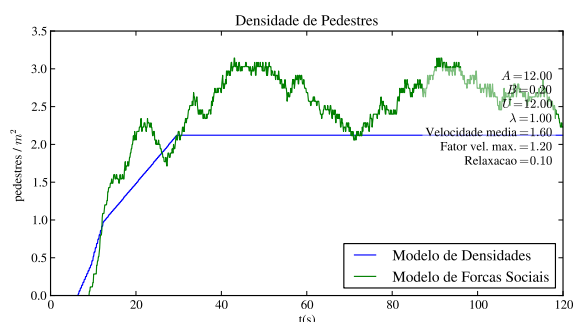


Figura 9: Comparando a densidade do agente a direita do obstáculo com duas multidões deslocando-se em sentido contrário.

## 5 Conclusões

Este artigo apresentou um modelo de simulação multiagente para multidões que pode ser utilizado em simuladores microscópicos de tráfego urbano que têm os veículos como menor granularidade. Modelos microscópicos para a simulação de deslocamento de multidões em ambientes fechados já foram propostos e o modelo denominado Forças Sociais tem se destacado. Este modelo tem o pedestre como menor elemento, o que impede sua aplicação direta nos simuladores de tráfego mencionados. Foram realizados diversos experimentos que mostram que o modelo proposto obtém densidades de pedestres equivalentes aquelas obtidas utilizando o Modelo de Forças Sociais nos cenários experimentados.

O modelo proposto tem uma limitação atualmente que precisa ser superada para que se possa tratar situações de emergência com mais fidelidade. As constantes determinadas empiricamente refletem adequadamente o comportamento das densidades considerando a velocidade média

de deslocamento dos pedestres de 1,6m/s adotada nos experimentos. Pretende-se variar esta velocidade em experimentos futuros para determinar como esta variação interfere no modelo e, eventualmente, atrelar o cálculo destas constantes a esta velocidade. Além disso, pretende-se experimentar o modelo proposto em situações onde o obstáculo se desloca. Resultados preliminares mostram que obstáculos móveis não afetam o modelo uma vez que este obstáculo, neste caso mais especificamente um veículo trafegando, deixa de se mover ao encontrar o primeiro pedestre pela frente.

## Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela Fundação de Amparo a Pesquisa do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

## Referências

- Bazzan, A. L. C., de Brito do Amarante, M., Sommer, T. and Benavides, A. J. (2010). ITSUMO: an agent-based simulator for ITS applications, in R. Rossetti, H. Liu and S. Tang (eds), *Proc. of the 4th Workshop on Artificial Transportation Systems and Simulation*, IEEE.
- Helbing, D. and Molnár, P. (1995). Social force model for pedestrian dynamics, *Phys. Rev. E* **51**: 4282–4286.
- Helbing, D., Molnár, P. and Bolay, K. (2001). Self-organizing pedestrian movement, *Environment and Planning B: Planning and Design* **28**(3): 361 – 383.
- Henderson, L. F. (1971). The statistics of crowd fluids, *Nature* **229**(5284): 381 – 383.
- Nagel, K. and Schreckenberg, M. (1992). A cellular automaton model for freeway traffic, *J. Phys. I France* **2**(12): 2221–2229.
- Rizzo, B. E. (2006). It cepd 001 - estimativa do quantitativo de indivíduos em multidões., *Technical report*.
- Saboia, P. C. (2010). *Simulação de multidões com agentes brownianos e modelo de forças sociais modificado*, Master's thesis, Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas.
- Silva, B. C. da., Junges, R., Oliveira, D. and Bazzan, A. L. C. (2006). ITSUMO: an intelligent transportation system for urban mobility, *Proceedings of the 5th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, AAMAS*, ACM Press, pp. 1471–1472.