



## UMA ABORDAGEM MULTIAGENTE PARA SIMULAÇÕES DE MOVIMENTAÇÃO DE MULTIDÕES E DE EVACUAÇÃO

### A MULTI-AGENT APPROACH FOR CROWD MOVEMENT AND EVACUATION SIMULATIONS

Victor Geraldo Gomes (1); Gray Farias Moita (2)

(1) Empresário, CEFET-MG, Belo Horizonte - MG, Brasil.

(2) Ph.D., Professor Titular Diretor de Planejamento e Gestão Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil CEFET-MG, Belo Horizonte - MG, Brasil.

Email para Correspondência: victor@pontobrsistemas.com.br; (P) Apresentador

**Resumo:** Ambientes com aglomerações podem ser responsáveis por problemas na eficiência de projetos referentes à evasão de multidões. A falta de fiscalização também favorece a grandes tragédias em locais de grande circulação de pessoas. Assim, o controle de multidões pode ser considerado como o planejamento sistemático para evitar problemas em reunião de pessoas. Um modelo via elaboração conceitual multiagentes para o fenômeno de pânico de multidão será abordado. Para a construção deste modelo computacional utilizar-se-á modelos matemáticos e simulações multiagentes. Assim, buscar-se-á a desenvolver um modelo computacional capaz de simular movimentação e multidões e, conseqüentemente, sua análise.

*Palavras chaves:* Evacuação de pessoas; agentes; multiagentes; Java; JADE.

**Abstract:** Environments with agglomerations may be responsible for problems in the efficiency of multi crowd avoidance projects. Lack of supervision also favors major tragedies in places where there is a great movement of people. Thus crowd control can be considered as systematic planning to avoid problems in crowd. A model via multiagent conceptual elaboration for the crowd panic phenomenon will be addressed. For the construction of this computational model will be used mathematical models and multiagent simulations. Thus, we will try to develop a computational model able to simulate movement and crowds and, consequently, its analysis.

*Keywords:* Evacuation of persons; agents; multiagent; Java; JADE.



## 1. INTRODUÇÃO

Tecnicamente, entende-se multidão como um grande grupo de indivíduos em um mesmo ambiente físico, compartilhando um objetivo comum e podendo agir diferentemente do que quando estão sozinhos. Compreender a movimentação destas multidões é de vital importância para o planejamento e a melhoria dos locais públicos, não só no sentido de facilitar e agilizar o deslocamento dos cidadãos, mas também garantir-lhes segurança, especialmente em condições de perigo iminente, onde pode haver a necessidade de evasão de tais locais. Para evitar situações catastróficas, a modelagem e estudo empírico do comportamento da multidão em condições de emergência são fundamentais para apoiar os planejadores e gestores na análise e avaliação das condições de segurança para essas situações.

Um questionamento importante decorrente dos estudos do comportamento coletivo é da possibilidade de estabelecer uma métrica relacionada com a transição da coletividade de um estado de normalidade para um estado de pânico. Desta forma pode ser possível definir quando e de que forma o pânico é instalado.

Diversos pesquisadores, tanto da Sociologia como de outras áreas do saber - como arquitetura, psicologia, engenharia, etc. - buscaram entender o comportamento dos indivíduos em uma situação de pânico, obtendo resultados variados e direcionados para as suas necessidades.

Neste processo de entendimento do fenômeno alguns questionamentos surgem, tais como:

Como comportamentos comuns (coletivos) surgem a partir das interações entre indivíduos em uma situação de pânico?

Como o fenômeno do pânico se desenvolve sob a abordagem interacionista?

Como é o desenvolvimento da mente coletiva durante o fenômeno do pânico?

É possível estabelecer uma métrica do pânico?

De modo a esclarecer e buscar uma maior compreensão desses questionamentos faz-se necessária uma análise da dinâmica do comportamento coletivo.

Neste trabalho propõe-se esta análise via a elaboração de um modelo conceitual multiagentes para o fenômeno do pânico em multidão, bem como sua posterior simulação computacional. Para construir um modelo computacional normalmente são empregados modelos matemáticos (como equações diferenciais, por exemplo) ou modelos cognitivos (simulações multiagentes). A aplicação de modelos matemáticos pode ser válida se o foco da análise estiver nos resultados, mas não especificamente nos passos necessários para se chegar a tais resultados, bem como promover uma análise quantitativa desses resultados (CALIRI; WALTHAM, 2000).

Pode-se utilizar sistemas complexos como uma outra abordagem na confecção do modelo. Nesse sentido, agentes (programas) são construídos e dotados de conhecimento, e de tomar decisões baseadas no ambiente, em uma memória cognitiva e nas decisões tomadas pelos demais agentes. A simulação multiagentes oferece uma infraestrutura



adequada para modelar e entender processos complexos e os fenômenos relacionados às Ciências Sociais tais como coordenação, cooperação, formação de coalizões e grupos, relacionamento micro-macro, evolução de convenções e normas, intencionalidade, livres arbítrio, resolução de conflito, entre outros.

Considerando sistemas sociais como sistemas complexos (LUHMANN, 1996), entende-se que são redes de objetos que interagem entre si e que exibem um comportamento dinâmico e agregado. Em razão de seu comportamento sistêmico, as propriedades destes sistemas só podem ser identificadas durante o comportamento coletivo. Assim, é possível o surgimento de propriedades coletivas emergentes, qualitativamente novas, e que não podem ser identificadas em nenhuma de suas unidades geradoras. Por isto a abordagem analítica/reducionista não é adequada para modelar sistemas complexos, pois considera que o comportamento de sistemas pode ser entendido a partir da análise separada de suas partes.

Uma grande quantidade de estudos relacionados a pesquisas de investigação do fenômeno de evasão de multidões em situações emergenciais tem sido desenvolvida nos últimos tempos, provocando com que nos dias de hoje tenham várias abordagens relevantes com o objetivo de simular as diferentes situações em que a evasão se faz fundamental e necessária. A modelagem desenvolvida com base nessas abordagens, ou nas suas combinações, podem possuir diversas formas de classificação, em virtude das suas características. Uma dessas características se refere à forma como os agentes são gerenciados; nesse caso, os modelos são classificados como: macroscópicos e microscópicos (ZHENG et al., 2009).

Pode ser feita a caracterização dos modelos macroscópicos como sendo aqueles que consistem em abordar os sistemas como um todo (características do fluxo de pedestre e não individual), enquanto os modelos microscópicos avaliam o comportamento dos transeuntes, suas decisões individuais e suas interações com os outros transeuntes no meio da multidão (PELECHANO & MALKAWI, 2008; ZHENG et al., 2009).

Segundo ZHENG et al., (2009), são apresentadas sete abordagens metodológicas (autômato celular, lattice gas, forças sociais, dinâmica dos fluidos, baseada em agentes, teoria dos jogos e experimentos com animais). Os autores discutem as vantagens e as desvantagens de cada uma delas no processo de evasão de edifícios. De modo a classificar essas abordagens tiveram como base principal seis características, sendo elas: abordagem, indivíduos/grupos, escala, espaço e tempo (space and time – SAT), situações e fenômenos típicos. Abaixo tais abordagens são descritas:

Autômatos celulares (AC) são considerados sistemas dinâmicos discretos que estão em uma malha regular de células. A cada passo de tempo discreto ocorre uma evolução das mesmas, onde o valor da variável em uma célula é definido pelos valores das variáveis nas células no entorno. Ocorre uma atualização das variáveis em cada célula simultaneamente tendo como base os valores das variáveis da sua vizinhança no passo de tempo anterior e de acordo com um conjunto de regras locais. A principal aplicação de modelos baseados em autômatos celulares tem sido para descrever a dinâmica de transeuntes no período das evacuações;



Lattice gas é pode ser considerado um caso especial de autômatos celulares. Nesse tipo de modelo, cada pedestre é considerado como uma partícula ativa na grade. Essa abordagem é utilizada com frequência no estudo das características de uma multidão de transeuntes, por meio de probabilidade e estatística;

O uso de modelos de forças sociais tem ocorrido, geralmente, na simulação de situações de pânico. No caso dessas simulações, o movimento dos transeuntes é determinado pela aplicação de forças que resultam nos seguintes efeitos: os transeuntes desejam chegar a um determinado destino; uma certa distância é mantida em relação aos outros transeuntes e as fronteiras dos obstáculos no ambiente (paredes, por exemplo); e ainda, pode ocorrer a sua atração por outros transeuntes (amigos, por exemplo) ou por objetos (vitrines, por exemplo);

Nos modelos de dinâmica dos fluidos são utilizadas propriedades dos fluidos para descrever as multidões de transeuntes. Essas simulações descrevem como densidade e velocidade se alteram com o tempo através da utilização de equações diferenciais parciais. Modelos de dinâmica dos fluidos podem ser utilizados com a finalidade de tentar compreender a mecânica do movimento de multidões, por exemplo;

Modelos baseados em agentes são modelos computacionais que possuem a característica de construir as estruturas sociais de modo “bottom up”, simulando indivíduos como agentes virtuais, e criando organizações emergentes das regras que governam as interações entre os agentes. Eles podem ser utilizados para simular o comportamento humano;

A abordagem de teoria dos jogos pode ser adotada para modelar situações em que o processo de decisão interativo dos evacuados é racional. O comportamento competitivo em uma saída de emergência pode ser simulado através de modelos de teoria dos jogos;

As abordagens metodológicas acima visam simular realisticamente a evasão de multidões e, por isso, são utilizadas no desenvolvimento e aprendizagem de diversos modelos. ZHENG et al., (2009) destacam que os modelos baseados em lattice gas e autômatos celulares são tipicamente utilizados em modelagem de evasão. Esses modelos são discretos nas variáveis de espaço, tempo e estado, o que os torna modelos idealmente adequados para simulações de computador em grande escala. Além disso, modelos de autômatos celulares têm grande poder expressivo para simular comportamentos complexos envolvendo um conjunto de regras simples (WOLFRAM, 1983), bem como comportamentos individuais e coletivos observados na dinâmica de transeuntes (VARAS et al., 2007).

A seguir serão apresentados alguns comportamentos e fenômenos que podem ser observados durante uma evasão. Uma parte desses comportamentos é descrita de maneira empírica, devido à dificuldade de se obter dados reais em uma evasão.

Individualmente, analisar o comportamento humano já é muito complexo, o que pode influenciar a opção de rota, o tempo e a eficiência de uma evasão. O processo de evasão se torna ainda mais complexo na medida em que as relações sociais são consideradas (YANG et al., 2005).



Fazer simulações de questões humanas em situação de normalidade já não é uma tarefa fácil, e simular esses fatores em situações de emergência torna essa tarefa ainda mais árdua. Isso porque muitos fenômenos e leis gerados pelas interações entre pessoas, construção e ambiente, são obtidos através de modelagem, devido à escassez de dados de uma evasão real (YANG et al., 2005). Essa dificuldade pode ser a grande responsável pelo desenvolvimento relativamente lento de pesquisas que levam em consideração o comportamento humano. No entanto, essa dificuldade também pode representar um desafio para muitos pesquisadores e atrair suas atenções para esse campo de pesquisa.

Dentre os possíveis comportamentos que podem emergir na simulação pode-se destacar os seguintes:

- (1) Fenômeno de ir com a multidão;
- (2) Fenômeno de reunião;
- (3) Retrocesso;
- (4) Comportamento de parentesco;
- (5) Arqueamento;
- (6) Mais rápido é mais lento;
- (7) Efeito não aventureiro;
- (8) Pânico.

É importante ressaltar que esses são apenas alguns fenômenos e comportamentos que podem ser observados durante uma evasão. Visto que o foco deste trabalho não é investigar a psicologia humana, esses fenômenos auxiliam na observação de que a psicologia e o comportamento humano desempenham um papel essencial no processo de evasão e que tais comportamentos podem surgir durante uma simulação mesmo que o foco do trabalho não seja estudá-los.

A principal vantagem do SMA é ter um agente como sendo uma entidade com capacidade de resolução de problemas encapsulados. Inserido nessa visão, WOOLDRIDGE (1995) define o agente como tendo as seguintes propriedades:

Autonomia – operam a maioria das suas ações sem intervenção diretamente de agentes humanos ou de demais agentes computacionais, onde tem total controle sobre suas ações e seu estado interno;

Habilidade social – possuem interseção com outros agentes (humanos ou computacionais), com o objetivo da complementação para resolver os seus problemas, ou também para ajudarem outros agentes. Disso aparece a necessidade de que os agentes possuam capacidade para comunicação de seus requisitos aos demais e um mecanismo de decisão interna que defina quando e quais interações são adequadas;

Capacidade de reação – ocorre a percepção e a reação a mudanças nos ambientes em que estão inseridos;



Capacidade proativa - agentes, do tipo deliberativo, além de atuar em resposta às mudanças que acontecem em seu ambiente, demonstram um comportamento que se orienta a objetivos, tendo iniciativas quando julgarem adequado.

Espera-se, desta forma, aprofundar os conhecimentos na área e passar de uma concepção fragmentada para uma concepção ampla e unitária do estudo proposto.

Apesar de existirem muitas pesquisas nessa área, a realização dessas simulações é muito difícil. Atualmente, apesar de engenheiros e arquitetos já dispensarem atenção especial aos projetos de dimensionamento do espaço e rotas de saída de emergências, ainda fica complicado conseguir calcular variáveis relacionadas ao comportamento das pessoas no momento de pânico de forma extremamente assertiva. Além de aspectos físicos da construção, obrigatoriedade de cumprimento das leis municipais, estaduais e/ou federais relacionadas à segurança, há também vários fatores relacionados ao comportamento humano em situações de emergência que precisam ser levados em conta para que o projeto seja realmente eficaz e funcione no momento crucial. Por isso, espera-se também com este trabalho realizar uma simulação que possa auxiliar novos estudos de evacuações.

## 2. METODOLOGIA

O processo de construção de um modelo baseado em agentes inicia-se com a criação de um modelo conceitual em que os requisitos básicos são identificados. Após a definição dos agentes, o próximo passo será especificar o comportamento dos mesmos. Pode-se começar com um comportamento genérico e, de forma gradativa, os ajustes poderão ser realizados para tornar o comportamento do agente mais aderente à realidade (Macal and North, 2009).

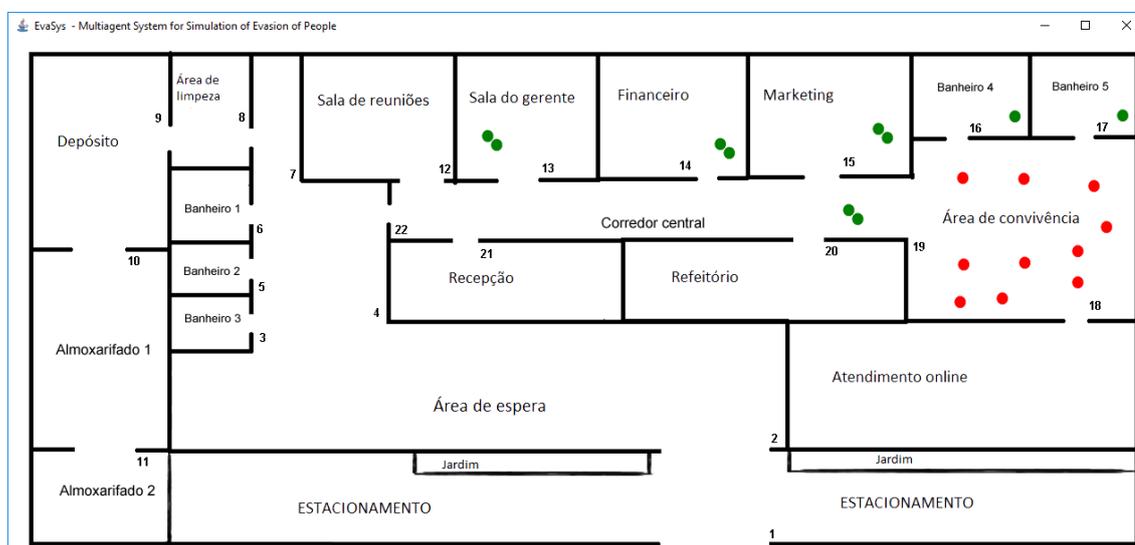
Para tal objetivo é utilizada a linguagem de programação Java (SUN, 2011) e framework JADE (Java Agent Development framework), um framework para desenvolvimento de aplicações de agentes em Java, que seguem o padrão FIPA (Foundation For Intelligent, Physical Agents). Como citado anteriormente, o JADE é uma ferramenta desenvolvida pela Telecom Itália em parceria com a Universidade de Parma, onde atualmente é um projeto open source com licença LGPL (Lesser General Public Licence). Além disso, o JADE provê mecanismos que simplificaram e facilitaram a construção, execução e o controle das simulações realizadas neste trabalho.

O simulador computacional proposto neste trabalho é baseado em uma arquitetura de agentes e tem por objetivo demonstrar a viabilidade da abordagem baseada em sistemas multiagentes para tratar a dinâmica de evasão de ambientes fechados em situações de emergência. O simulador denomina-se EvaSys - Multiagent System for Simulation of Environments Evasion. O simulador será denominado EvaSys - Multiagent System for Simulation of Environments Evasion. O EvaSys possui os seguintes agentes: pessoa, ambiente, obstáculo e porta de saída conforme detalhado na Tabela 1.

**Tabela 1. Descrição dos agentes**

Agente	Descrição
Ambiente	Será representado aqui por uma planta baixa (piso). O ambiente será dividido em células de mesmo tamanho que formam uma grade retangular. Esse ambiente poderá ser uma planta de um salão de eventos, imóvel residencial ou empresa.
Obstáculo	Esse agente refere-se à obstáculos fixos dentro de cada ambiente. Esse obstáculo, para nossa simulação, irá referir-se a paredes internas dentro do ambiente.
Pessoa	Principal agente da simulação, terá a tarefa de sair do ambiente no menor espaço de tempo. Cada pessoa irá se deslocar até a porta de saída e poderá comunicar com outras pessoas para trocar informações de rotas de saída. Cada pessoa, no início de cada simulação, poderá ou não saber o caminho de saída. Na simulação que se pretende realizar, cada pessoa irá interagir com o ambiente para saber se a posição que se pretende deslocar estará ocupada ou vazia.
Porta	Compreenderá um ou mais endereços dentro do ambiente por onde cada pessoa deverá passar para sair do ambiente que estará em situação de emergência.

O simulador EvaSys representa, individualmente, cada pessoa, cada ambiente fechado, cada obstáculo e portas de saída, bem como os comportamentos e as interações entre eles. Tal representação, com 10 agentes que sabem o local da saída (aqui como bolas verdes) e 10 pessoas que não sabem o local de saída (aqui como bolas vermelhas), é ilustrada na Figura 1.



**Figura 1. Protótipo de interface do EvaSys**

Fonte: (Autor, 2018)

A representação do tempo no EvaSys é feita através de unidades discretas de segundos. Essa unidade de tempo funciona como um índice temporal para a execução das ações agendadas no simulador.



O padrão adotado para as unidades de medida de tempo, espaço e velocidade no EvaSys são, respectivamente, segundos(s), metros(m) e metros por segundo (m/s). Cada pessoa terá, individualmente, uma velocidade fixa e seu tempo contabilizado desde o início da simulação até a saída pela porta do ambiente. O modelo proposto considerará a velocidade para as pessoas idosas variando de 1,4 a 1,8 m/s e, para pessoas jovens, entre 2 e 2,2 m/s. A cada nova simulação, cada pessoa recebe, aleatoriamente, a velocidade de acordo com sua idade.

Para evadir do ambiente, esse agente deve sair pelas portas 16, 19, 22, 4, 2 e 1 (evasão total do ambiente). Quando a pessoa sabe a rota de fuga, irá se deslocar em linha reta até a próxima porta. O algoritmo não permitirá que a mesma célula seja ocupada por duas pessoas ao mesmo tempo. Conforme foi dito anteriormente, cada pessoa poderá ser jovem ou idosa fazendo com que sua velocidade de deslocamento seja diferente entre esses dois grupos. Entretanto, quando uma pessoa não souber a rota completa de saída, ela irá se deslocar para a porta da sala que está atualmente e, ao sair, irá escolher aleatoriamente qual direção tomar.

A geração dos agentes pessoais é feita a partir das configurações iniciais feitas pelo na interface do simulador. Para as simulações que se pretendem fazer, são inseridas 20 pessoas no ambiente, sendo 10 pessoas que saberão a rota de saída e estarão distribuídas nas salas da empresa e outras 10 pessoas que estarão na Área de Convivência e não saberão o caminho da saída. Avalia-se a possibilidade de, depois do início da simulação, inserir mais pessoas (agentes) no ambiente simulado.

A pessoa tem a opção de deslocar para qualquer direção, ou seja, horizontalmente, verticalmente ou diagonalmente. Se esse agente sabe o local de saída, ele irá calcular a rota de saída e já irá se deslocar para lá. Caso contrário, irá mover-se aleatoriamente até encontrar saída ou outra pessoa (agente) passar a informação para ele do local de saída. O agente ambiente não permitirá que mais de uma pessoa ocupe o mesmo local, ao mesmo tempo, dentro do espaço. A pessoa só se move quando há célula vizinha para ela se deslocar. Quando a multidão começar a sair, todas pessoas que estão imediatamente atrás, irão se mover para frente de forma organizada. As regras de movimento e as interações entre pedestres são apresentadas no algoritmo da Figura 2 mostrado a seguir:

```
Para cada unidade de tempo:
  Para cada pessoa, verificar quais células poderá se mover.
  Enquanto houver pessoas no ambiente, faça:
    Para cada pessoa que que saiba o caminho de saída, faça:
      Calcule a rota da posição atual até a saída.

      Se a célula destino da pessoa está desocupada, então:
        Mova para célula.
      Senão, se a célula destino da pessoa está ocupada,
      então:
        Aguarde uma unidade de tempo.

      Caso encontre outra pessoa em uma célula
      imediatamente ao lado, poderá trocar informações de
      rota de saída.

    Para cada pessoa que que não saiba o caminho de saída,
    faça:
      Escolha, aleatoriamente, uma célula não ocupada ao
      seu redor.

      Se encontrar célula desocupada, então:
        Mova para célula.
      Caso todas as células estejam ocupadas, então:
        Aguarde uma unidade de tempo.

      Caso encontre outra pessoa em uma célula
      imediatamente ao lado, poderá trocar informações de
      rota de saída.

  Atualize a posição da pessoa.
  Ambiente atualiza célula ocupada e/ou célula vazia.
```

**Figura 2. Movimentação e interação entre as pessoas**

**Fonte: (Autor, 2018)**

Denomina-se interação entre agentes ou entre agente/ambiente uma troca de informações, que pode ser realizada de forma direta (comunicação explícita) ou de modo indireto (emissão de sinais através do ambiente). Um agente comunica uma dada mensagem num dado momento e de acordo com um dado contexto. Neste sentido, é importante que as mensagens sejam interpretadas de acordo com o contexto em que são enviadas ou recebidas. No simulador proposto, cada pessoa poderá trocar informação com outra de forma direta (Figura 3), onde cada agente comunica diretamente com qualquer outro agente sem qualquer intermediário. A informação a ser compartilhada entre os agentes é a rota de fuga.

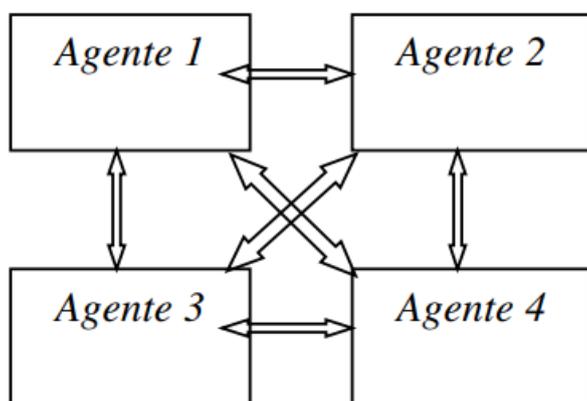


Figura 2. Comunicação direta entre agentes

Fonte: (Autor, 2018)

### 3. RESULTADOS E CONCLUSÃO

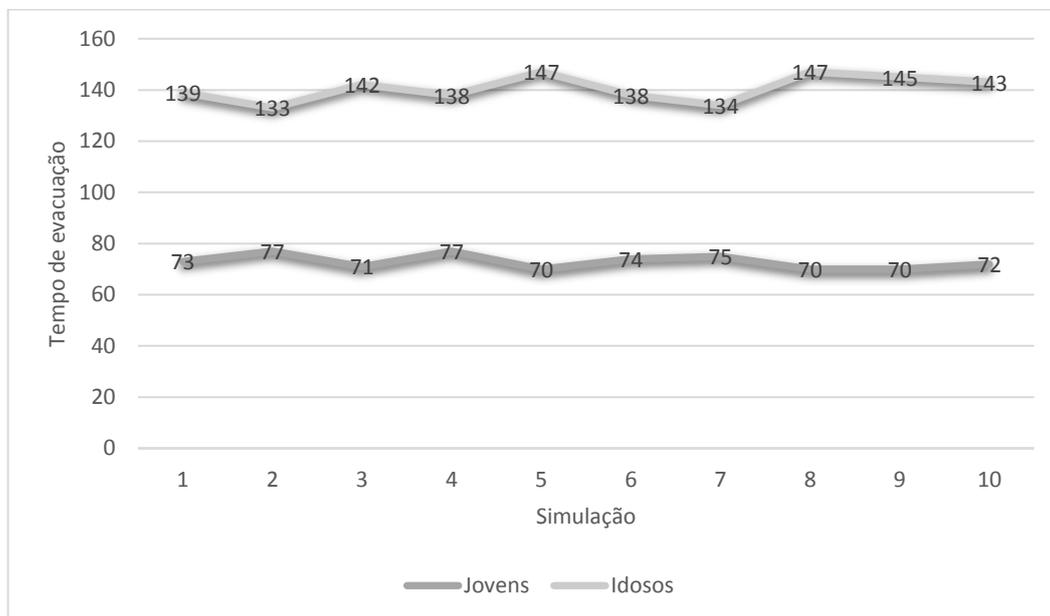
Para testes preliminares com 20 pessoas (agentes), todas sabiam a rota de fuga, ou seja, conheciam o ambiente e 10 pessoas eram idosas. Ressalta-se também: que não há troca de informações entre esses agentes; o modelo também ignora alguns efeitos como, por exemplo, o comportamento de parentesco, o fenômeno de ir com a multidão, possibilidade de a pessoa entrar em pânico, novos obstáculos que possam surgir durante a movimentação das pessoas e velocidades diferentes de acordo com a idade. Tais efeitos podem ser modelados com a inclusão dessas características no modelo; a cada nova simulação, o tempo de reação de cada pessoa é de 0 a 4 segundos. Entende-se como tempo de reação o momento inicial da caminhada depois do início da simulação; e, a Figura 8 ilustra a posição inicial de cada pessoa no início da simulação.

Foram realizadas 10 simulações onde cada pessoa que conhecia o ambiente, de forma independente e única, se deslocou até a porta de saída com determinado tempo. As Tabela 2 e Figura 3 mostram, respectivamente, o tempo total das simulações e a média de tempo de evacuação para indivíduos jovens e idosos.

Tabela 2. Tempo total das simulações

Simulação	Tempo (segundos)
Simulação 01	154
Simulação 02	155

Simulação 03	156
Simulação 04	159
Simulação 05	156
Simulação 06	161
Simulação 07	155
Simulação 08	161
Simulação 09	157
Simulação 10	158



**Figura 3. Tempo total de evacuação**

**Fonte: (Autor, 2018)**

A interação entre os agentes dentro do ambiente é uma das principais características que se pretende explorar no modelo de simulador apresentado. O resultado ilustrado no item anterior não considerou, além dessa interação e troca de informações entre os agentes, algumas outras características como as pessoas (agentes) não saberem a rota de fuga e velocidade única para cada agente de acordo com a idade (jovem ou idoso).

Assim sendo, pretende-se explorar mais recursos do EvaSys e realizar mais simulações considerando:

- Número variado de agentes (pessoas);
- Pessoas, aleatoriamente, sabendo ou não o local da saída;
- Inclusão de mais obstáculos;
- Velocidade variando de acordo com a idade;



---

Efeito manada;

Possibilidade de pessoa entrar em pânico e ficar parada.



## REFERÊNCIAS

- CALIRI, G.; WALTHAM, M. *Introduction to Analytical Modeling*. In: *computer Measurement group*; 1997. Cmg-conference-. [S.l.], 2000. v. 1, p. 31–36.
- DURKHEIM, E. *Les règles de la méthode sociologique*. [S.l.]: Presses Universitaires de France, 1895.
- FONSECA, J. J. S. *Metodologia da pesquisa científica*. Fortaleza: UEC, 2002.
- KIRCHNER, A.; SCHADSCHNEIDER, A. *Simulation of evacuation processes using a bionics-inspired cellular automaton model for pedestrian dynamics*. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 312, n. 1 - 2, Sept. 2002, p. 260 – 276.
- LI-JUN, J.; JIN-CHANG, C.; WEI-JIE, Z. *A crowd evacuation simulation model based on 2.5-dimension cellular automaton*. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Virtual Environments, Human–Computer Interfaces and Measurements Systems*, 2009, p. 90 – 95.
- LUHMANN, N. *Social Systems*. [S.l.]: Stanford University Press, 1996.
- PARSONS, T. *The Structure of Social Action*. [S.l.: s.n.], 1937.
- PELECHANO, N.; MALKAWI, A. *Evacuation simulation models: Challenges in modeling high rise building evacuation with cellular automata approaches*. *Automation in Construction*, v. 17, n. 4, 2008, p. 377 – 385
- SMELSER, N. J. *Theory of Collective Behavior*. [S.l.]: Free Press, 1963.
- TARDE, G. *Les lois de l'imitation: Étude sociologique*. [S.l.]: Félix Alcan, 1890.
- TURNER, R. H.; KILLIAN, L. M. *Collective Behavior*. [S.l.]: Prentice-Hall, 1957.
- VARAS, A.; CORNEJO, M. D.; MAINEMER, D.; TOLEDO, B.; ROGAN, J.; MUÑOZ, V.; VALDIVIA, J. A.. *Cellular automaton model for evacuation process with obstacles*. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 382, n. 2, Aug. 2007, p. 631 – 642.
- WEI-GUO, S.; YAN-FEI, Y.; BING-HONG, W.; WEI-CHENG, F. *Evacuation behaviors at exit in CA model with force essentials: A comparison with social force model*. *Physica A: Statistical and Theoretical Physics*, v. 371, n. 2, 2006, p. 658 – 666.
- WOLFRAM, S. *Cellular Automata*. 1983. Disponível em: <http://www.stephenwolfram.com/publications/articles/ca/83-cellular/2/text.html>. Visitado em: 01/08/2011.
- WOOLDRIDGE, Michael; JENNINGS, Nicholas R. *Intelligent Agents: Theory and Practice*. *The Knowledge Engineering Review*, v.10, n.2, p.115–152, 1995.
- YANG, L.Z.; ZHAO D.L.; Li J.; FANG T.Y. *Simulation of the kin behavior in building occupant evacuation based on cellular automaton*. *Building and Environment*, v.
- ZHENG, X.; ZHONG, T.; LIU, M. *Modeling crowd evacuation of a building based on seven methodological approaches*. *Building and Environment*, v. 44, n. 3, p. 437 – 445, 2009. ISSN 0360-1323.



---

Macal, C. and North, M. (2009). *Agent-based modeling and simulation*. In Winter Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2009, pages 86 –98.