

# An agent-based simulation model for analyzing the impact of teacher behavior in case of evacuation from daycare classrooms

Raimundo J. C. Ferro Junior<sup>1</sup> Thyanne F. da Silva<sup>1</sup> João P. B. Andrade<sup>1</sup>,  
Gustavo A. L. de Campos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Ceará (UECE) - Fortaleza - CE - Brazil

{junior.ferro, thyanne.silva}@aluno.uece.br

**Abstract.** *Agent-based simulations can be used to study and formulate evacuation plans, however the traditional simulation models for this context are not suitable for daycare and school settings where the population of these settings has unique physical and behavioral characteristics. This paper proposes a simulation model based on classroom evacuation agents from daycare centers that takes into account the physical and behavioral characteristics of the students and that is able to provide data to evaluate the impact of teachers' behavior in the evacuation process. The model was built using the Netlogo tool, using as basis the structures of the Brazilian classroom environment and using data from the literature on human behavior. The tests were performed in different settings of parameters for environment, population, student behavior and evacuation strategies. The experiments showed that the model was able to reproduce results consistent with the expected values and scenarios described in the literature, as well as being an effective tool to evaluate the impact of teacher behavior in the evacuation process, especially in rooms where students have a high degree of dependency.*

**Resumo.** *Simulações baseadas em agentes podem ser usadas para estudar e formular planos de evacuação, entretanto os modelos tradicionais de simulação para esse contexto não são adequados para cenários de creches e escolas onde a população desses cenários possui características físicas e comportamentais únicas. Este trabalho propõe um modelo de simulação baseada em agentes de evacuação de sala de aula de creches, que leve em conta as características físicas e comportamentais dos alunos e que é capaz de fornecer dados para avaliar o impacto do comportamento dos professores no processo de evacuação. O modelo foi construído utilizando a ferramenta Netlogo, utilizando como base as estruturas do ambiente de sala de aula brasileira e utilizando dados sobre comportamento humano. Os testes foram realizados em diferentes configurações de parâmetros para ambiente, população, comportamento dos estudantes e estratégias de evacuação. Os experimentos mostraram que o modelo foi capaz de reproduzir resultados consistentes com os valores esperados e cenários descritos na literatura, além de ser uma ferramenta eficaz para avaliar o impacto do comportamento do professor no processo de evacuação, especialmente em salas que os alunos apresentam um alto grau de dependência.*

## 1. Introdução

A segurança humana é uma das maiores prioridades nos processos de construção e gestão de edificações. Prédios são construídos seguindo um conjunto de normas e convenções para minimizar os riscos aos internos em situações de emergência [Silva et al. 2017]. Entretanto, como a eliminação de todos os riscos é algo impossível, outras práticas precisam ser adotadas para minimizar prejuízos. Uma dessas medidas adotadas são os planos de evacuação, onde são estabelecidas normas, rotinas e procedimentos que ajudem as pessoas a sair de uma zona de perigo da forma mais adequada.

Parte dos estudos sobre evacuação se baseiam na análise de registros de situações reais de evacuação ou na análise de simulações feitas em ambientes específicos com a participação de voluntários, entretanto tais experimentos apresentam problemas que limitam seu uso e em alguns casos até comprometem os resultados [Camillen et al. 2009]. Trabalhos como [Silva et al. 2017] e [Dou 2012] utilizaram ferramentas de simulação para contornar os problemas da abordagem tradicional. Tais ferramentas permitiram aos pesquisadores controlar melhor os ambientes das simulações.

Entretanto, mesmo com o avanço das pesquisas no contexto de evacuação, outro problema foi levantado, [Larusdottir et al. 2014, Murozaki and Ohnishi 1985] questionaram se os modelos de evacuação com base em dados de adultos podem ser generalizados para contextos envolvendo crianças.

Como apresentado por [Murozaki and Ohnishi 1985], parte das informações usadas para descrever o comportamento e movimentação humana não se aplicam à situações que descrevam evacuação de crianças. Segundo [Larusdottir and Dederichs 2012] crianças de 0 a 6 apresentam características físicas e comportamentais diferentes de adultos, informações relevantes como velocidade de movimento, tamanho e o processo de tomada de decisão são consideravelmente diferentes dos modelos clássicos.

[Larusdottir and Dederichs 2011] identificou quais parâmetros, físicos e comportamentais, devem ser redefinidos em modelos que trabalhem com crianças. Desde então, trabalhos como [Liu et al. 2016, Ulriksen and Dederichs 2014] tentam adaptar essas novas informações para os modelos atuais de simulação. Porém os trabalhos existentes que abordam as diferenças entre adultos e crianças apresentam condições de parâmetros restritas e não levaram em consideração todas as adaptações propostas por [Larusdottir and Dederichs 2011], o que inviabiliza seu uso de forma efetiva para ajudar instituições de ensino ou profissionais de segurança a formular e testar planos de evacuação eficazes para suas necessidades.

Este trabalho se propôs a estender essas pesquisas, aplicando suas informações ao contexto de simulações baseadas em agentes e investigando o impacto do processo de tomada de decisão de professores em cenários de evacuação de sala de aula. Tal investigação é relevante pois amplia os meios disponíveis de validar novas estratégias de evacuação e ajudar as instituições educacionais a ampliar a segurança.

As seções a seguir explicam o referencial usado, sobre o processo de construção do ambiente, a formulação dos agentes e os parâmetros e resultados das simulações realizadas.

## 2. Trabalhos Relacionados

Poucos trabalhos tentaram abordar o contexto de evacuação de crianças. [Larusdottir et al. 2014] fez um levantamento da literatura sobre evacuação de crianças e fez experimentos de evacuação com crianças de 0 a 6 anos de idade com o intuito de identificar quais características físicas e comportamentais desse grupo divergem das informações tradicionais da literatura. O estudo mostrou que atributos como velocidade, nível de obediência e instinto de auto-preservação são diferentes do que se espera para adultos. Desde então alguns trabalhos tentaram incorporar esses dados e criar modelos de simulação mais adequados para esses contextos.

[Ulriksen and Dederichs 2014] foi um dos primeiros trabalhos a utilizar as novas informações pesquisadas por [Larusdottir et al. 2014] para modelos de simulação. As simulações foram realizadas usando a ferramenta Simulex, e tinham o objetivo de tentar analisar o tempo de evacuação de creches com os parâmetros de velocidade de crianças de 0-6 anos com andar apressado em plano horizontal e na descida de escadas.

Entretanto a maior limitação do trabalho foi que a ferramenta usada não era capaz de simular informações comportamentais nem a interação entre os alunos e professores. Apesar das limitações observadas, o trabalho foi importante pois ressaltou em seus resultados que implementar o processo de tomada de decisão e obstáculos no ambiente são fundamentais.

O trabalho [Liu et al. 2016] é o mais recente que incorpora aspectos comportamentais definidos por [Larusdottir and Dederichs 2012, Larusdottir and Dederichs 2011] em simulações baseadas em agentes. As simulações foram feitas usando a ferramenta NetLogo, com o objetivo de investigar a relação entre a quantidade de portas em um ambiente com o tempo de evacuação total, além disso foi analisado o impacto de treinamento prévio dos alunos no tempo de evacuação total.

Uma das maiores contribuições do trabalho foi simular dois comportamentos distintos para os agentes. O primeiro comportamento simulado foi chamado “auto-organizado”, em que cada aluno elabora uma rota própria de evacuação com base numa medida de avaliação das localidades próximas. O segundo comportamento implementado foi o de “treinamento-prévio” que simula conhecimento prévio de treinamentos de evacuação.

Apesar dos avanços apresentados pelo trabalho, duas grandes limitações podem ser apontadas: desconsiderar a participação dos professores no processo de evacuação e a uniformidade do comportamento das crianças. Segundo os autores o professor só assumiria o papel de orientar o caminho para as crianças evacuarem, o que não é necessariamente uma premissa válida em cenários de crianças de 0-6 anos. Segundo [Larusdottir and Dederichs 2011] alunos de 0-6 anos de idade apresentam alta dependência do professor. Com relação a uniformidade no comportamento a maior crítica sobre essa abordagem é assumir um cenário otimista, em que todas as crianças apresentem um comportamento organizado e de acordo com o treinamento prévio. Tal abordagem pode distorcer os resultados e apresentar dados mais otimistas do que a realidade.

### 3. Construção do Modelo

O modelo proposto neste trabalho considera o ambiente de salas de aulas brasileiras e a população de agentes é composta por dois tipos de agentes: o professor e os alunos. Cada tipo de agente possui um processo de tomada de decisão próprio e um sistema de movimentação único que refletem as capacidades físicas e comportamentais desses dois grupos. As seções a seguir explicam os detalhes da simulação.

#### 3.1. Formulação do Professor

Antes de formular o comportamento do agente professor, foi consultado na literatura e com os professores das creches públicas da cidade de Fortaleza-CE quais os procedimentos padrões em caso de evacuação. Não foram encontrados procedimentos padrões específicos para a salas de creche e nenhum dos profissionais consultados relatou conhecer algum procedimento padrão.

Devido falta de padronização nos planos de evacuação entendemos que o comportamento do professor pode variar muito durante uma evacuação, portando para simular os diversos comportamentos possíveis, criamos uma arquitetura baseada em prioridades, onde o professor possui uma lista de prioridades e toma suas ações baseadas nelas. O algoritmo 1 apresenta a arquitetura do agente professor.

---

#### Algoritmo 1: Tomada de Decisão Professor

---

**Entrada:** *Estado*

**início**

**if** *Existem alunos na sala?* **then**

        |  $Acao \leftarrow Proximo(Estado, ListaPrioridades);$

        | *Aplicar(Acao)*

**else**

        | *EvacuarSala();*

**end**

**fim**

---

Essa arquitetura, apesar de simples, permite que o mesmo agente possa assumir diversos comportamentos através da substituição da função *Próximo()*. Essa função retorna a lista que determina a ordem das ações do professor e que pode ser atualizada dinamicamente ao longo da simulação. Esta lista pode representar qualquer comportamento plausível numa situação de evacuação. Exemplos de prioridade possíveis seriam "Socorrer alunos de 0-2, depois socorrer alunos 3-4, depois socorrer alunos de 5-6 anos" ou "Socorrer sempre o aluno mais distante da porta".

Com o intuito de manter a simplicidade do modelo apenas um conjunto específico de prioridades foi implementado. As funções de prioridades desenvolvidas foram:

- Aleatório: Nesse comportamento o professor socorre um aluno, escolhido de forma aleatória, por vez.
- Proximidade: Nesse comportamento o professor sempre socorre o aluno mais próximo dele.
- Parcial - Completo: Nesse comportamento o professor socorre primeiro todos os alunos do tipo "parcialmente-assistido", escolhidos entre si de forma aleatória, e

depois socorre os alunos do tipo "completamente-assistido", também escolhidos entre si de forma aleatória.

A escolha desses três comportamentos específicos foi feita levando em consideração as experiências relatadas pelos professores e pelo nível de aleatoriedade de cada um. Nossa hipótese era que conforme o nível de aleatoriedade no processo de decisão do professor diminuísse, mudanças positivas fossem visíveis nos resultados das simulações. As medidas de desempenho usadas para avaliar essas mudanças foram os tempos de evacuação, total e por tipo de aluno, e o esforço do professor ao longo do processo.

### 3.1.1. Comportamento dos Alunos

Como apresentado em [Pan et al. 2007], o comportamento humano pode ser interpretado como os resultados de um processo de tomada de decisão e que esse processo possui três componentes principais: O instinto, experiência prévia e racionalidade. A combinação desses três componentes gera uma gama de comportamentos e consequentemente a complexidade do comportamento humano [Pan et al. 2007].

Apesar de existirem modelos bem definidos que descrevem como esses componentes interagem em alguns cenários, quando falamos de crianças esses componentes interagem de formas distintas. [Larusdottir and Dederichs 2011] mostrou que em turmas de alunos de 0-2 anos de idade apenas 20% das crianças apresentaram comportamento similar ao de um adulto, 58% das crianças precisaram de intervenção direta do professor para iniciar ou continuar o processo de evacuação, essas crianças não entendiam o que estava acontecendo ou precisavam de alguma ajuda física para sair da sala de aula. Por último, 22% das crianças não tinham a mínima condição de evacuar a sala sozinhas e precisavam ser carregadas por um adulto. Em casos de alunos na faixa 3-6 anos o comportamento das crianças se aproximou mais do comportamento adulto, onde apenas 10% das crianças precisaram de assistência e 5% precisaram ser carregadas. Para representar esses níveis de dependência foram modelados três tipos agentes, um para cada nível de dependência.

### 3.1.2. Comportamento Auto-Organizado

Este tipo de agente representa os alunos que tem capacidade de evacuar a sala sozinhos, o processo de tomada de decisão utiliza o mesmo princípio usado por [Liu et al. 2016] e por [Dou 2012]. Os agentes avaliam a atratividade dos *patches* em seu alcance com base na densidade populacional e na distância do *patch* para a saída mais próxima e se movem para o *patch* livre de maior atratividade total. A atratividade total de um *patch* é definida pela equação:

$$A_t = \alpha \times A_e + \beta \times A_i \text{ tal que,}$$

- $A_t$ : Atratividade total do *patch*.
- $A_e$ : Atratividade com base na densidade do *patch*.
- $A_i$ : Atratividade com base na distância do *patch* para a saída mais próxima.
- $\alpha$  e  $\beta$ : Pesos de cada atratividade, sendo  $\alpha + \beta = 1$ .

Devido a imprevisibilidade do comportamento humano e da atual incapacidade de identificar quais parâmetros cada pessoa prioriza (densidade ou distância) quando escolhe uma determinada rota de evacuação, não existem valores padrões para  $\alpha$  e  $\beta$ , para contornar esse problema os testes foram feitos com diferentes combinações de alpha e beta.

Os valores de densidade e atratividade da densidade seguem as seguintes fórmulas,

$$D_{ep} = A_i / (2 + R + 1)^2$$

$$A_e = (D_{emax} - D_{ep}) / (D_{emax} - D_{emin}) \text{ tal que,}$$

- $A_e$ : Atratividade com base na densidade.
- $D_{emax}$ : Densidade máxima entre todos os *patches*
- $D_{ep}$ : Densidade do *patch* atual
- $D_{emin}$ : Densidade mínima entre todos os *patches*
- $A_i$ : Número de alunos dentro do raio de alcance
- $R$ : Raio de alcance do aluno

Essa fórmula de atratividade faz com que a densidade de um *patch* tenha um impacto negativo no processo de decisão, que é uma consequência aceitável, devido a premissa que as pessoas tendem a procurar espaços menos densos.

Por último a atratividade com base na distância é definida pela equação,

$$A_i = (D_{imax} - D_{ip}) / (D_{imax} - D_{imin}) \text{ tal que}$$

- $A_i$ : Atratividade com base na distância para a saída mais próxima.
- $D_{imax}$ : Distância máxima entre todos os *patches*.
- $D_{ip}$ : Distância do *patch* atual.
- $D_{imin}$ : Distância mínima entre todos os *patches*.

Assim como a densidade, esta fórmula implica num comportamento plausível onde as pessoas tendem a fazer uma trajetória em linha reta para a saída, mas podem desviar o caminho em caso de esquiwa.

### 3.1.3. Comportamento Parcialmente Assistido

Este comportamento representa os alunos que possuem dificuldades de iniciar o processo de evacuação sozinhos, talvez por encontrar um obstáculo, estar preso, não possui total capacidade de se mover sozinho ou ainda não ser capaz de compreender a situação. Apesar dessa limitação, eles possuem os mesmos mecanismos de tomada de decisão e movimentação dos alunos apresentados na seção anterior, porém esses mecanismos precisam ser ativados ou reativados pelo professor, simulando ajuda, como direcionamentos, leves empurrões, segurar de mãos, ajuda na transposição de obstáculos ou levantar um aluno caído. Esses alunos só precisam de ajudas pontuais durante a simulação.

### 3.1.4. Comportamento Completamente Assistido

Este comportamento representa alunos que não possuem capacidade de se mover sozinhos, ou que não conseguem executar plenamente um processo de tomada de decisão, por

exemplo, crianças que ainda não conseguem andar. Nesse caso, eles precisam ser carregados pelo professor durante todo o processo de evacuação da sala. O professor tem um máximo de dois alunos que podem ser carregados simultaneamente.

### 3.2. Movimentação dos Agentes

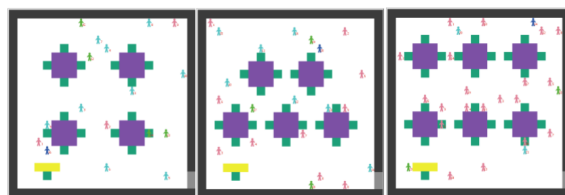
Para todas as simulações o tamanho de cada agente é igual ao tamanho da unidade espacial que ele se encontra ( $0,3m$ ) e apenas um agente por vez poderá ocupar cada espaço, a única exceção dessa regra será o caso de professores carregando alunos que apresentam comportamento totalmente assistido nesse caso será permitido a sobreposição de agentes.

Segundo [Larusdottir and Dederichs 2012], as velocidades de andar apressado em plano horizontal apresentada por crianças de 0-2 anos varia entre  $0,6m/s$  e  $1,14m/s$ , enquanto as de crianças de 3-6 anos variam entre  $0,84m/s$  e  $2,23m/s$ . Esses valores foram usados como base para todas as simulações.

### 3.3. Formulação do Ambiente

Com o intuito de representar a realidade das creches brasileiras, foi levantado o padrão arquitetônico dessas instituições. Foi usado como base as especificações de tamanho e formato de sala de aula estabelecidas pelo projeto Proinfância do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Tais normas estão descritas nos documentos [FNDE 2017b, FNDE 2017c, FNDE 2016, FNDE 2013a, FNDE 2013b, FNDE 2017a].

Partindo desses dados foram elaborados 3 layouts de sala de aulas para os ambientes das simulações. Todas as salas possuem  $36m^2$  de área útil e  $43,56m^2$  de área total. A figura 1 apresenta as salas de aula implementadas. Cada sala possui uma população de alunos que reflete um dos tipos de sala de aula estabelecidos nas normas brasileiras. As salas do tipo B, com capacidade máxima de 16 crianças de 1 ano até 1 ano e 11 meses. As salas do tipo C, com 20 crianças de 2 anos até 3 anos e 11 meses. As salas do tipo D, com 24 crianças de 4 anos até 5 anos e 12 meses.



**Figura 1. Salas Implementadas - Cenário B (esquerda), Cenário C (meio), Cenário D (direita)**

As cores utilizadas nos layouts são importantes, pois elas definem as características dos *patches* e agentes. *Patches* brancos representam espaços de livre movimentação. *Patches* turquesa representam espaços onde a movimentação é possível, porém existem objetos que prejudicam a movimentação, reduzindo a velocidade do agente em 20%. *Patches* roxos ou amarelos são obstáculos. *Patches* cinza são as saídas da sala e *patches* cinza escuro são as paredes da sala. No caso das tartarugas, os agentes de cor rosa apresentam o comportamento auto-organizado, os alunos de cor ciano apresentam o comportamento parcialmente assistido e os alunos verdes apresentam o comportamento completamente assistido. A população de cada tipo de agente seguem as mesmas proporções estabelecidas por [Larusdottir and Dederichs 2011].

## 4. Simulações e Resultados

### 4.1. Validação do Modelo

Antes de realizar os experimentos foi necessário testar a capacidade do modelo de produzir resultados que representem a realidade. Para isso são feitas simulações com parâmetros simplificados, onde todos os agentes apresentam a mesma velocidade e o comportamento de tomada de decisão auto-organizada de  $\alpha = 0$  e  $\beta = 1$ . Os resultados da simulação são comparados com os valores esperados aplicando a equação de Togawa.

Segundo [Togawa 1955], o modelo Togawa é capaz de estimar valores máximos de tempo de evacuação de salas em edificações para modelagens simples. Caso os valores da simulação sejam próximos dos valores da equação então o modelo é suficientemente próximo da realidade para que as distorções provocadas pela alteração dos parâmetros seja minimizada.

A equação de Togawa segue a seguinte fórmula:

$$T_e = N_a / (B \times N) + D_p / V \text{ onde,}$$

- $T_e$ : Tempo estimado de evacuação em segundos.
- $N_a$ : Número de agentes no espaço.
- $B$ : Largura, em metros, da passagem mais estreita no espaço.
- $N$ : Capacidade de fluxo, em *pessoas/m/s*, da passagem mais estreita do espaço.
- $D_p$ : Distância percorrida pelo primeiro agente a sair da sala.
- $V$ : Velocidade das entidades

Os parâmetros dos testes de validação estão descritos na Tabela 1 e os resultados dos teste estão descritos na Tabela 2.

**Tabela 1. Parâmetros de Validação**

Parâmetro	Sala tipo B	Sala tipo C	Sala Tipo D
Número de Alunos	16	20	24
Passagem Mais Estreita	0,6	0,6	0,6
Velocidade	0,6 m/s	0,6 m/s	0,6 m/s
Capacidade de fluxo	2 p/m/s	2 p/m/s	2 p/m/s
Média de Menor Distância para uma saída	4,7	3,94	3,25
Número de Repetições	50	50	50

Fonte: Elaborado pelo autor

**Tabela 2. Resultados Teste de Togawa**

Tempos	Sala tipo B	Sala tipo C	Sala Tipo D
Tempo de Evacuação Esperado	21	23	25
Tempo Médio de Evacuação Obtido	22	25	27

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando os dados dos 150 testes, foi perceptível que os valores obtidos em sua maioria eram superiores ao valores esperados pela equação de Togawa, mas dentro do intervalo esperado, e é razoável assumir que a presença de obstáculos no ambiente (*patches*



roxos e amarelos) fosse elevar os tempos de evacuação obtidos. Logo, podemos concluir que o modelo foi capaz de reproduzir resultados consistentes e com o mínimo de distorção inicial.

## 4.2. Experimentos

O modelo foi implementado usando a plataforma Netlogo [Tisue and Wilensky 2004], e a simulação foi executada 1800 vezes, divididas em 36 configurações. Cada configuração variava o ambiente (tipo de sala, quantidade de alunos por tipo), comportamento do professor (funções prioridade) e valores de alpha e beta. As imagens a seguir apresentam os resultados relativos ao tempo de evacuação médio em cada configuração e do esforço do professor (quantidade de metros que ele andou durante a simulação).



Figura 2. Tempos Médios de Evacuação



Figura 3. Esforço Médio do Professor

### 4.2.1. Cenário B

Analisando o cenário B, podemos observar que conforme reduzimos a aleatoriedade no processo de tomada de decisão do professor o tempo de evacuação total da sala e esforço do professor cai de forma significativa, em alguns testes é possível observar uma diferença de mais de 15 segundos entre a função Aleatório e a função Proximidade e mais de 60 metros de diferença no percurso do professor quando comparamos as mesmas funções. Outro ponto observado foi que, apesar de possuir o menor número de alunos, este cenário foi o que apresentou os maiores tempos de evacuação total e de esforço do professor. Isso ocorreu pelo fato que a sala B possui a maior proporção de alunos assistidos pelo professor.

### 4.2.2. Cenário C

Quando analisamos o cenário C é possível observar um comportamento similar ao observado na sala B, os valores de tempo de evacuação total e esforço do professor diminuíram conforme a aleatoriedade no processo de tomada de decisão foi reduzida. Outro ponto

observado foi que o aumento da proporção de alunos auto-organizados reduziu o tempo total de evacuação e o esforço do professor. E quando observamos os tempos médios de evacuação por tipo de aluno, percebemos que os alunos auto-organizados mantiveram os mesmos tempos da sala B, aproximadamente 10 segundos, porém para os alunos assistidos pelo professor os tempos foram inferiores. O aumento no número de alunos auto-organizados explica esse fenômeno, pois com menos alunos precisando da ajuda do professor é plausível que os tempos desses alunos melhorem, porém esse aumento não foi suficiente para provocar congestionamentos na saída, o que justifica a constância dos tempos para os alunos auto-organizados.

#### 4.2.3. Cenário D

Quando analisamos o cenário da sala D observamos que a função prioridade do professor não provocou alterações significativas nos tempo de evacuação total e no esforço do professor, isso ocorreu pelo fato de que apenas 15% dos alunos precisam da ajuda dele durante o processo de evacuação. Apesar disso quando analisamos os tempos médios de cada tipo de alunos é visível que a função prioridade gerou impactos nos tempos dos alunos. No caso específico dos alunos auto-organizados eles apresentaram resultados acima dos obtidos nas salas B e C, isso ocorreu devido a formação de filas e congestionamentos perto da saída o que desacelerou o processo de evacuação deles, esse fenômeno pôde ser observado tanto na interface da simulação quanto no gráfico de densidade, que apresentou picos maiores nesse cenário.

#### 4.2.4. Comparação entre os cenários e Emergência de Fenômenos

Quando comparamos os dados de cada cenário é perceptível que o comportamento do professor e dos alunos é um fator muito mais importante para o processo de evacuação do que a quantidade de alunos.

Outro ponto observado durante os testes foi a emergência de fenômenos inerentes ao processo de evacuação, mas que não foram implementados. Os fenômenos percebidos foram: formação de filas, congestionamentos e indecisão dos agentes. A figura 4 mostra exemplos desses fenômenos.

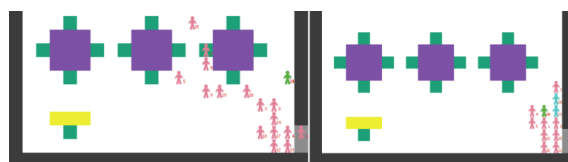


Figura 4. Formação de filas

Por último, quando analisamos o impacto de  $\alpha$ (densidade) e  $\beta$ (distância) nos resultados as diferenças nos valores foram inferiores a 2% em muitos casos, entretanto nos casos onde o valor de  $\alpha$  é muito próximo ou igual à 1 os agentes não eram capazes de sair da sala e apenas fugiam uns dos outros.

## **5. Conclusão**

### **5.1. Limitações**

Apesar do trabalho ter atingido seus objetivos algumas limitações do modelo precisam ser apontadas. Uma limitação importante do modelo é a capacidade de suportar apenas um professor em sala de aula, nas creches brasileiras, em especial nas públicas, é comum algumas salas possuírem um professor auxiliar. Outra limitação é o comportamento dos alunos, apesar de que este modelo seja um dos poucos que leva em conta a heterogeneidade do comportamento infantil, os agentes do tipo aluno ainda não representam todo o espectro de possibilidades do comportamento infantil descrito por [Larusdottir and Dederichs 2011].

### **5.2. Trabalhos Futuros**

Como trabalhos futuros planejamos primeiramente o melhoramento dos agentes, no caso dos agentes de aluno, introduzir mais tipos de comportamentos e cenários descritos por [Larusdottir and Dederichs 2011]. No caso do professor planejamos a construção de novas estratégias de evacuação afim de identificar que tipo de comportamento é mais adequado para realidade brasileira. Além disso também é possível estender o comportamento do professor adicionando um protocolo de comunicação para que o modelo suporte novos professores com comportamentos distintos na mesma sala, que é um cenário comum em creches públicas.

Em segundo lugar, também é possível estender o modelo para incluir outros ambientes, por exemplo, o padrão de sala de aula de creche feito pelo ministério da educação, onde as salas possuem uma arquitetura diferente da apresentada neste trabalho. Por último, também temos em mente utilizar este trabalho como base para estudar o próprio processo de evacuação de escolas inteiras e outros ambientes com alta população infantil.

### **5.3. Considerações Finais**

Com base nos resultados obtidos, consideramos que este trabalho atingiu seu objetivo, produzindo um modelo capaz de avaliar como o comportamento do professor pode afetar o processo de evacuação de salas de aulas. Todos os resultados apresentados foram dentro do esperado, pudemos observar que o comportamento do professor afeta de forma significativa o processo de evacuação, principalmente em salas com alunos entre 0 e 3 anos de idade. Além disso foi possível observar a emergência de fenômenos na simulação. Outro ponto importante é que tendo em vista a necessidade, dificuldade e custo elevado da elaboração e teste de planos de emergência para as escolas brasileiras, este modelo pode ser utilizado como uma ferramenta para facilitar esse processo e prover mais segurança a um grupo tão vulnerável. Além disso os resultados e simulações elaborados neste trabalho servem de base para novos estudo sobre comportamento humano no cenário abordado.

## **Referências**

Camillen, F., Caprì, S., Garofalo, C., Ignaccolo, M., Inturri, G., Pluchino, A., Rapisarda, A., and Tudisco, S. (2009). Multi agent simulation of pedestrian behavior in closed spatial environments. In *2009 IEEE Toronto International Conference Science and Technology for Humanity (TIC-STH)*, pages 375–380.

- Dou, M. (2012). A simulation study on the effect of individuals' uncertain behaviors in indoor evacuation. In *The 12th IEEE International Conference on Scalable Computing and Communications*.
- FNDE (2013a). *MEMORIAL DESCRITIVO - PROJETO PROINFÂNCIA - TIPO B*. Brasília.
- FNDE (2013b). *MEMORIAL DESCRITIVO - PROJETO PROINFÂNCIA - TIPO C*. Brasília.
- FNDE (2016). *MEMORIAL DESCRITIVO - PROJETO PROINFÂNCIA - TIPO 3*. Brasília.
- FNDE (2017a). *MANUAL DE ORIENTAÇÕES TÉCNICAS - ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE EDIFICAÇÕES ESCOLARES: EDUCAÇÃO INFANTIL*. Brasília.
- FNDE (2017b). *MEMORIAL DESCRITIVO - PROJETO PROINFÂNCIA - TIPO 1*. Brasília.
- FNDE (2017c). *MEMORIAL DESCRITIVO - PROJETO PROINFÂNCIA - TIPO 2*. Brasília.
- Larusdottir, A., Dederichs, A., and Nilsson, D. (2014). *Evacuation of Children: Focusing on daycare centers and elementary schools*. PhD thesis, University of Denmark.
- Larusdottir, A. R. and Dederichs, A. S. (2011). A step towards including children's evacuation parameters and behavior in fire safe building design. *Fire Safety Science*, 10:187–195.
- Larusdottir, A. R. and Dederichs, A. S. (2012). Evacuation of children: Movement on stairs and on horizontal plane. *Fire Technology*, 48(1):43–53.
- Liu, R., Jiang, D., and Shi, L. (2016). Agent-based simulation of alternative classroom evacuation scenarios. *Frontiers of Architectural Research*, 5(1):111 – 125.
- Murozaki, Y. and Ohnishi, K. (1985). A study of fire safety and evacuation planning for pre- schools and day care centers. *Memoirs of the Faculty of Engineering Kobe University*.
- Pan, X., Han, C. S., Dauber, K., and Law, K. H. (2007). A multi-agent based framework for the simulation of human and social behaviors during emergency evacuations. *Ai & Society*, 22(2):113–132.
- Silva, V., Scholl, M., and Francisca Adamatti, D. (2017). Simulação multiagente da evacuação da boate kiss: A importância da nbr 9.077 e sua relação com o pânico. In *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, volume 24, page 101.
- Tisue, S. and Wilensky, U. (2004). Netlogo: A simple environment for modeling complexity. In *International Conference on Complex Systems*, pages 16–21.
- Togawa, K. (1955). Study on fire escapes basing on the observations of multitude current. *Report of the Building Research Institute*, 14.
- Ulriksen, L. and Dederichs, A. S. (2014). Evacuation of day care centres for children 0–6 years: Simulations using simulex. In Weidmann, U., Kirsch, U., and Schreckenberg, M., editors, *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2012*, pages 959–969, Cham. Springer International Publishing.