

Modelagem e Simulação de Evacuações de Emergência em Estádios: Uma Abordagem Baseada em Agentes utilizando NetLogo

Gilmar Teixeira Junior^{1,2}, Wilker Cordeiro de Macedo², Bruno Lopes Santos², João Victor Ribas Coelho², Valdemar Vicente Graciano Neto²

¹Universidade Estadual de Goiás – UEG
Santa Helena de Goiás – GO – Brasil

²Goiás INformation Systems and Software EngIneerinG Research Team (GoIn-Sight)
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PPGCC)
Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás – UFG
Goiânia – GO – Brasil

gilmar.junior@ueg.br, {wilkermacedo, lopesssantos, joaocoelho}@discente.
ufg.br, valdemarneto@ufg.br

Abstract. *This study presents an agent-based modeling approach to simulate emergency evacuations in stadiums using the NetLogo tool. The methodology follows established guidelines from the literature, covering the planning and architecture of the simulations. Four distinct scenarios were analyzed, varying the stadium capacity and the availability of emergency exits. Preliminary results indicate that agent-based modeling allows for a detailed analysis of individual behavior during evacuation, providing valuable insights to optimize evacuation routes and strategies. This study contributes to improving emergency plans, potentially enhancing safety in large-scale events.*

Resumo. *Este estudo apresenta uma modelagem baseada em agentes para simular evacuações de emergência em estádios utilizando a ferramenta NetLogo. A metodologia segue diretrizes padrões da literatura, cobrindo o planejamento e a arquitetura das simulações. Foram analisados quatro cenários distintos, variando a capacidade do estádio e a disponibilidade de saídas de emergência. Os resultados preliminares mostram que a modelagem baseada em agentes permite uma análise detalhada do comportamento individual durante a evacuação, proporcionando informações relevantes para otimizar as rotas e estratégias de evacuação. Este estudo contribui para a melhoria dos planos de emergência, podendo trazer mais segurança em eventos de grande porte.*

1. Introdução

Historicamente, tragédias como incêndios e tumultos em estádios destacaram a importância de estratégias de evacuação de emergência eficazes e bem planejadas. No contexto brasileiro, a segurança em eventos de massa é regida por diversas normas técnicas e legislações, como a NBR 9077, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que estabelece as diretrizes para saídas de emergência em edificações [ABNT 2001]. A

preocupação com a segurança desses locais é constante em todo o mundo. Eventos esportivos, shows e outras atividades que atraem multidões exigem planejamento para garantir a segurança dos participantes em situações de emergência. Um desses eventos de grande porte, que reúne milhares de pessoas, são os Jogos Olímpicos de 2024, em Paris.

Esses eventos aumentam o interesse em buscar soluções tecnológicas que antecipem qualquer eventualidade e diminuam o risco a integridade física das pessoas. No Brasil, em 2016, além de mudanças significativas em estruturas físicas e construções para comportar a elevada demanda de um evento de porte internacional, a equipe de tecnologia se empenhou para integrar diversos sistemas operando simultaneamente e foi a primeira olimpíada a utilizar serviços de *Cloud Computing*¹.

A evacuação de um estádio em situação de emergência apresenta vários desafios devido à arquitetura complexa e à alta densidade de pessoas. A principal dificuldade reside na necessidade de mover um grande número de indivíduos de maneira rápida e ordenada, evitando pânico e minimizando riscos de acidentes. A modelagem dessas situações é essencial para entender os comportamentos humanos durante emergências e identificar pontos críticos no fluxo de evacuação, como gargalos em portas e corredores [Gwynne et al. 1999, Mahmudzadeh et al. 2020]. Algumas abordagens tradicionais não consideram adequadamente a interação dinâmica entre os indivíduos durante a evacuação, resultando em previsões imprecisas dos tempos de evacuação e na identificação de pontos críticos [X. Pan and Law 2017, Zheng and Liu 2009].

A integração de abordagens baseadas em agentes oferece uma visão realista e adaptativa dos possíveis desafios durante uma evacuação. Tais simulações podem ser continuamente refinadas com dados empíricos, aumentando a precisão dos modelos e a eficácia dos planos de evacuação, assegurando uma resposta mais robusta e eficiente em situações de emergência. NetLogo é uma ferramenta poderosa para simulação baseada em agentes, permitindo a criação de modelos complexos e dinâmicos, onde o comportamento de cada indivíduo (agente) pode ser definido e analisado. Com esta ferramenta, é possível replicar o movimento e a interação de milhares de pessoas em um ambiente controlado, testando diferentes estratégias de evacuação e identificando possíveis gargalos e pontos críticos no fluxo de pessoas [Wilensky 1999, Foini et al. 2023].

O presente estudo foca na simulação de evacuações de emergência em estádios, onde o desafio de mover um grande número de pessoas de forma segura e eficiente é amplificado pela arquitetura complexa e pelas limitações físicas do ambiente. A modelagem considera variáveis como a capacidade das saídas, a distribuição das pessoas e a reação individual aos sinais de emergência. Além disso, diferentes cenários são simulados para avaliar a eficácia das estratégias de evacuação e a simulação pode ser alterada em tempo de execução para verificar a reação dos agentes a eventos emergentes, permitindo ajustes dinâmicos e uma análise mais realista do comportamento em situações de emergência.

O artigo está estruturado da seguinte forma: a Seção 2 revisa a literatura e descreve os trabalhos relacionados. A Seção 3 aborda os métodos de pesquisa de modelagem e simulação e a Seção 4 apresenta os resultados, discutindo suas implicações para a prática de gerenciamento de emergências. Finalmente, a Seção 5 conclui o artigo, destacando as

¹ matéria disponível no link <https://itforum.com.br/noticias/exclusivo-cio-comenta-desempenho-da-ti-durante-rio-2016/>

principais contribuições do estudo e sugerindo direções para pesquisas futuras.

2. Referencial Teórico e Trabalhos Relacionados

A evacuação de emergência em grandes eventos, como em estádios, é um exemplo clássico de sistema complexo. Tais sistemas são caracterizados por comportamentos emergentes que resultam da interação entre seus componentes individuais [Bar-Yam 2019]. Eles são compostos por uma rede de componentes que, apesar de operarem sob regras simples e sem um controle centralizado, dão origem a comportamentos coletivos complexos e processamento de informação sofisticado. A auto-organização e o comportamento emergente são aspectos centrais, permitindo o surgimento de novas propriedades que não são diretamente observáveis nas partes individuais do sistema [Ladyman and Wiesner 2020].

A modelagem baseada em agentes (ABM) é uma das técnicas utilizadas para a simulação de sistemas complexos, especialmente em cenários onde as interações entre os indivíduos desempenham um papel crucial no comportamento emergente do sistema. Segundo Wooldridge e Jennings (1995) [Wooldridge and Jennings 1995], ABM é uma abordagem que permite a simulação de sistemas dinâmicos ao modelar entidades individuais, conhecidas como agentes, que possuem autonomia para tomar decisões e interagir com outros agentes dentro de um ambiente simulado.

Diferentemente de outras abordagens tradicionais, como as baseadas em equações diferenciais, que são mais estáticas, a ABM consegue capturar a complexidade dos comportamentos coletivos que surgem onde as decisões individuais afetam diretamente o resultado coletivo [Bonabeau 2002, Ghaffarzagdegan et al. 2023, Duarte et al. 2022, Aguiar et al. 2016]. Uma outra vantagem é a capacidade de capturar comportamentos mais realistas devido à abstração oferecida pela granularidade da representação dos agentes, o que é difícil representar em uma outra abordagem mais tradicional, como o Discrete Event System Specification (DEVS). Essa granularidade de representação permite uma simulação mais próxima da realidade, com suporte a animação dos agentes tornando a simulação visualmente mais intuitiva e informativa [Macal and North 2005].

Trabalhos Relacionados. Diversos trabalhos utilizam a modelagem baseada em agentes para simular evacuações, mas ainda existem áreas a serem exploradas. No estudo de [Beyki et al. 2023], os autores modelam evacuações em incêndios florestais utilizando ABM, destacando a importância do comportamento humano na previsão de rotas seguras. O estudo aborda a modelagem de evacuações, a simulação de tráfego e os desafios enfrentados na criação de modelos eficazes de evacuação.

No trabalho de [Chang et al. 2024], os autores simulam o comportamento de pedestres em emergências urbanas usando modelos multi-agentes, integrando teorias de tomada de decisão. Eles desenvolveram uma estrutura de simulação para preparação e resposta a desastres, focando na evacuação de pedestres em nível de rua durante terremotos. A abordagem baseada em agentes foi utilizada para modelar o comportamento dos indivíduos e otimizar rotas de evacuação.

Já em [Wang et al. 2023], foi explorado o comportamento físico e a tomada de decisão de pedestres em evacuações de emergência utilizando um design multi-agente baseado na teoria da decisão. A pesquisa integrou o modelo de força social no software

AnyLogic para simular processos de evacuação e analisou comportamentos típicos como parceria de pedestres, desvio de obstáculos e competição por saídas.

O trabalho de [Mahmudzadeh et al. 2020] apresenta o desenvolvimento de um modelo de simulação para evacuação de estádios, focando em prever os comportamentos populacionais durante cenários de evacuação. O estudo utilizou soluções de software de caminhada dinâmica multi-fatorial para simular a evacuação em um estádio. Embora os autores se concentrem em simulação de evacuação de estádios, a abordagem proposta por esta pesquisa, se difere por utilizar uma ferramenta de modelagem e simulação baseada em agentes, o NetLogo. Esta abordagem permite uma análise do comportamento individual dos agentes. Além disso, o trabalho de [Mahmudzadeh et al. 2020] não considera cenários dinâmicos em que as saídas se tornam progressivamente inacessíveis. Essa pesquisa também se difere ao integrar comportamentos adaptativos dos agentes em resposta a eventos emergentes durante a evacuação.

3. Método de Pesquisa em Modelagem e Simulação

De acordo com França e Travassos (2015) [de França and Travassos 2015], o planejamento de simulações deve seguir um conjunto de diretrizes que asseguram a coerência e a integridade do estudo. Neste estudo foram seguidas as seguintes etapas: (i) Definição do Escopo e Objetivos; (ii) Preparação do Ambiente de Simulação; (iii) Desenvolvimento do Modelo e; (iv) Execução das Simulações.

3.1. Definição do Escopo e Objetivos

O objetivo deste estudo é desenvolver e implementar um modelo de simulação baseado em agentes para avaliar a eficiência de evacuações de emergência em estádios utilizando a ferramenta NetLogo. A pesquisa inclui a criação de cenários diversos, a análise do comportamento dos agentes durante as evacuações e a identificação de possíveis melhorias nos planos de emergência. Os objetivos específicos são (i) **Simular diferentes cenários de evacuação em um estádio:** Avaliar diferentes cenários ajuda a otimizar planos de emergência, considerando várias condições possíveis; (ii) **Analisar o impacto da densidade populacional e da disponibilidade de saídas de emergência nos tempos de evacuação:** Entender esses fatores é essencial para melhorar a segurança e eficiência em eventos de alta densidade; e (iii) **Identificar gargalos e pontos críticos no fluxo de evacuação:** Identificar pontos críticos permite implementar medidas preventivas, melhorando o fluxo de evacuação e reduzindo riscos.

3.2. Preparação do Ambiente de Simulação

A preparação do ambiente de simulação envolve a configuração detalhada do estádio e dos agentes que representarão os indivíduos na evacuação. Utilizou-se a ferramenta NetLogo para criar um ambiente controlado onde cada agente simula o comportamento de um indivíduo no estádio. Os seguintes passos foram seguidos na preparação do ambiente:

Modelagem do Estádio: O estádio foi modelado como um ambiente virtual com características físicas específicas, incluindo saídas de emergência, obstáculos, corredores, sensores e áreas de arquibancada. Para simplificar o estudo, focou-se na ocupação apenas das áreas de arquibancada. A Figura 1 apresenta a modelagem do estádio na ferramenta NetLogo.

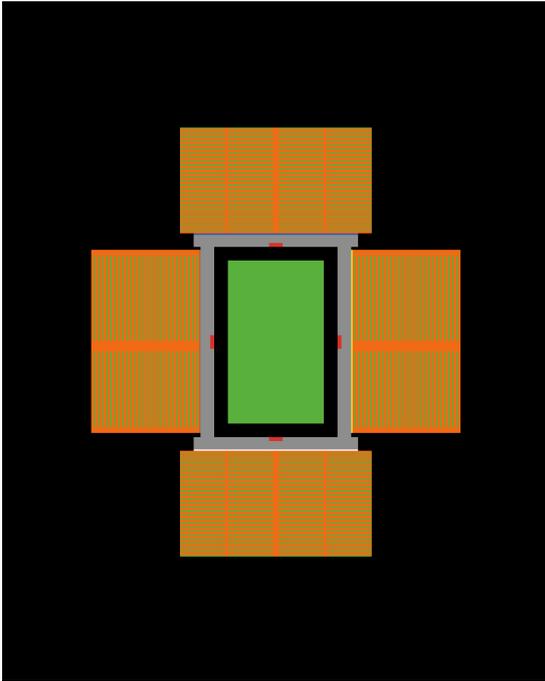


Figura 1. Modelagem do estádio

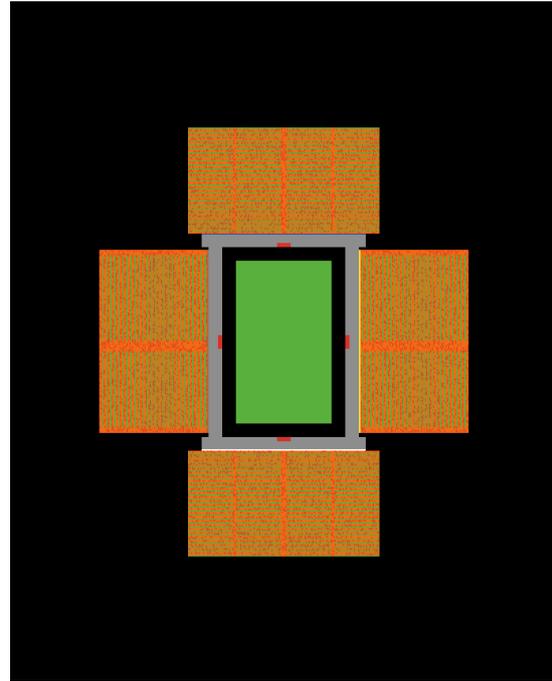


Figura 2. Agentes modelados

Definição dos Agentes: Cada agente foi configurado com um conjunto de regras de comportamento, incluindo a percepção do ambiente, a tomada de decisão e as interações com outros agentes. Os agentes foram modelados como pontos vermelhos e podem ser visualizados sob a arquibancada na Figura 2.

3.3. Desenvolvimento do Modelo

O desenvolvimento do modelo de simulação foi realizado no NetLogo, seguindo os seguintes passos: **1- Criação do Ambiente:** O estádio e seus componentes, como arquibancadas, corredores e saídas de emergência, foram modelados. Os agentes foram distribuídos de forma igualitária nas arquibancadas conforme a capacidade definida para cada cenário; **2 - Programação dos Agentes:** Os agentes foram configurados para simular comportamentos realistas durante uma evacuação. Eles percebem o ambiente, tomam decisões baseadas nas informações disponíveis e interagem com outros agentes para evitar congestionamentos; **3 - Configuração dos Cenários:** Os cenários são frequentemente utilizados em artigos de simulação para representar diferentes condições ou contextos nos quais os sistemas são avaliados [de Almeida Molina et al. 2023, Barboza et al. 2019, Camilo et al. 2020, Coutinho et al. 2020]. Esse uso permite uma análise detalhada e comparativa do desempenho e comportamento do sistema sob diversas situações, proporcionando uma visão mais abrangente de suas capacidades e limitações. Quatro cenários distintos foram preparados para as simulações:

- Cenário 1: 50% da capacidade do estádio com todas as saídas de emergência habilitadas - para este trabalho, a capacidade total ficou definida em 8.000 agentes;
- Cenário 2: 100% da capacidade do estádio com todas as saídas de emergência habilitadas;
- Cenário 3: 50% da capacidade do estádio com apenas duas saídas de emergência habilitadas;

- Cenário 4: 100% da capacidade do estádio com apenas duas saídas de emergência habilitadas.

Os quatro cenários simulados podem ser vistos nas Figuras 3a, 3b, 3c e 3d. As saídas habilitadas para uso são visíveis na simulação. Nos cenários onde apenas duas saídas estão disponíveis, as demais saídas de emergência são desabilitadas e não ficam visíveis para o usuário.

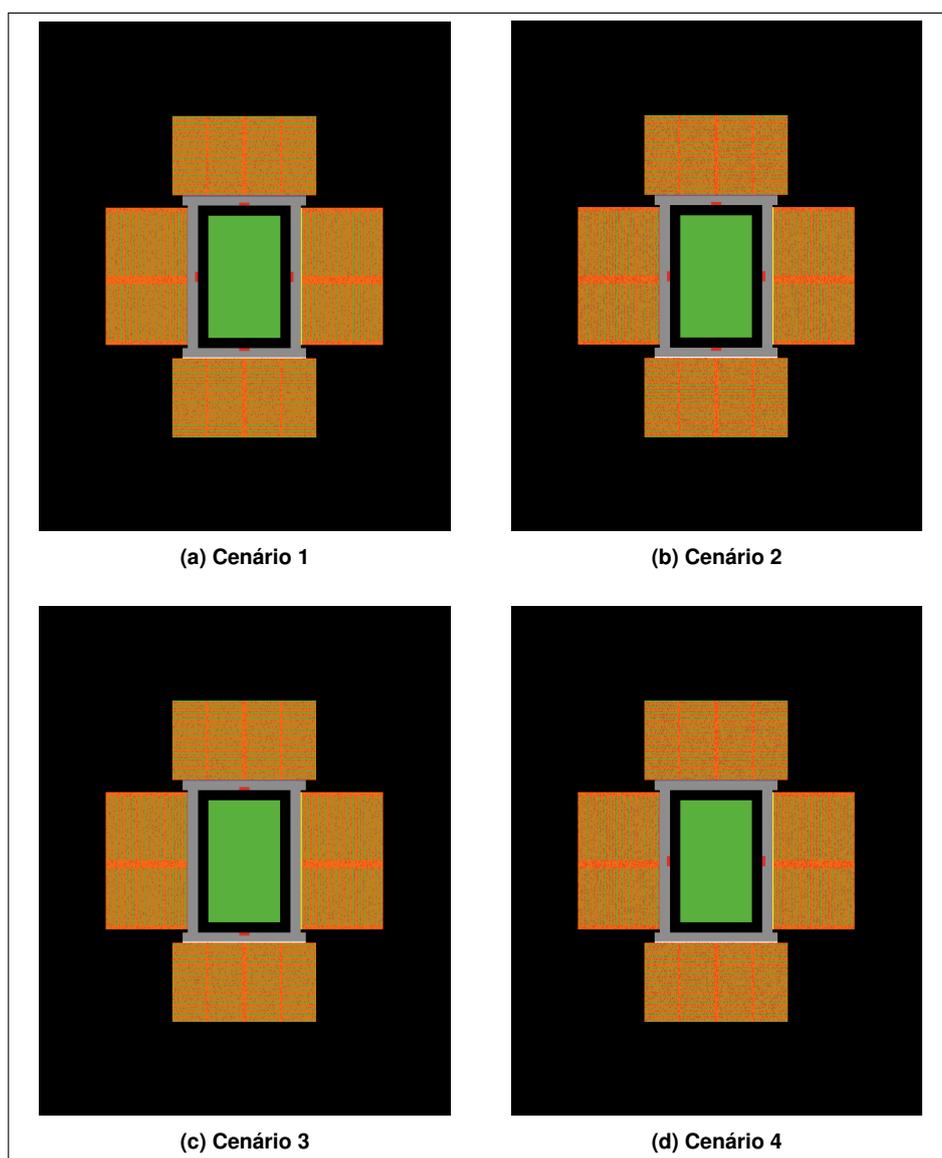


Figura 3. Cenários simulados

3.4. Execução das Simulações

A execução das simulações envolveu a realização de múltiplos testes para cada um dos cenários definidos. As simulações foram realizadas em um notebook Lenovo Ideapad Gaming 3i, equipado com um processador Intel Core i5-10300H @ 2.50GHz, 8 GB de memória RAM e placa de vídeo NVIDIA GeForce GTX 1650. O sistema operacional utilizado foi o Fedora Linux de 64 bits. Para assegurar a replicabilidade dos resultados e

fornecer um recurso completo para outros pesquisadores, todos os arquivos relacionados ao desenvolvimento no NetLogo, incluindo relatórios, um documento detalhado com as configurações e criação do ambiente, vídeos explicativos e uma planilha com os resultados, estão disponíveis em um link do Dropbox ². Os passos a seguir foram seguidos para a execução das simulações:

Inicialização da Simulação: Cada simulação foi inicializada com os parâmetros específicos do cenário, incluindo a capacidade do estádio e a disponibilidade de saídas de emergência.

Coleta de Dados: Durante a simulação, dados foram coletados para análise posterior. As métricas incluíram o tempo total de evacuação, o número de agentes evacuados com sucesso e a identificação de gargalos e pontos de congestionamento.

Análise dos Resultados: Após a execução das simulações, os dados coletados foram analisados para identificar padrões.

Validação dos Resultados: Para garantir a validade dos resultados, as simulações foram repetidas múltiplas vezes e ajustes foram feitos no modelo conforme necessário.

4. Resultados e Discussões

Foram realizadas sete simulações com diferentes configurações de saídas de emergência e capacidades do estádio. As simulações 1, 2 e 3 foram parametrizadas com 8000 pessoas, variando a quantidade de saídas disponíveis. Já as simulações 4, 5 e 6 foram configuradas com 4000 pessoas, também variando as saídas de emergência. A simulação 7, embora tenha características iniciais idênticas à simulação 4, apresentou uma diferença significativa: durante a execução, uma das saídas (Oeste) foi bloqueada, obrigando os agentes a recalcularem suas rotas em busca de saídas alternativas. A escolha dessas sete simulações permitiu uma análise abrangente de diferentes cenários, desde a total disponibilidade de saídas até situações mais desafiadoras, como a perda de uma saída em tempo real. Esse processo proporcionou uma compreensão detalhada da influência da configuração das saídas e da capacidade do estádio sobre os tempos de evacuação, além de revelar padrões de congestionamento e identificar os setores mais críticos. A Tabela 1 resume os principais resultados das simulações.

Tabela 1. Resultados das Simulações

Simulação	Portas	Pessoas	Tempo de evacuação (s)	Média de notificação Norte	Média de notificação Sul	Média de notificação Leste	Média de notificação Oeste
1	Todas	8000	635	194	190	361	359
2	Norte e Sul	8000	1183	200	211	143	141
3	Leste e Oeste	8000	1286	112	113	455	452
4	Todas	4000	383	107	107	204	204
5	Leste e Oeste	4000	735	111	117	219	227
6	Norte e Sul	4000	653	127	110	143	143
7	Todas	4000	754	111	111	201	387

Os resultados mostram que a configuração das portas de saída e a capacidade do estádio têm um grande impacto no tempo de evacuação. Embora o aumento da capacidade

²link para acesso a pasta: <https://www.dropbox.com/scl/fo/8wkgr8ctxp0aq17z4051t/AC7ab2FnVrOv70zaNTili80?rlkey=7411gndx95p8qjsw2385lvc3p&st=qdgmjdwtdl=0>

e a redução de portas possam parecer óbvios, a modelagem baseada em agentes permite analisar como as decisões autônomas dos indivíduos afetam o fluxo de evacuação.

Análise dos Resultados. Os resultados das simulações foram analisados para identificar tempos de evacuação e pontos de congestionamento, fornecendo informações cruciais para a melhoria das estratégias de evacuação em estádios. As métricas de desempenho incluem o tempo total de evacuação, o número de agentes evacuados com sucesso e a possível identificação de gargalos.

Para cada simulação, foram calculados os tempos de evacuação dos agentes nas quatro direções (Norte, Sul, Leste e Oeste) para entender como a distribuição de pessoas afeta o tempo de evacuação. A partir desses tempos (calculados por sensores), é possível determinar quando uma arquibancada está vazia e analisar o tempo de evacuação para diferentes setores do estádio. A Tabela 2 apresenta os tempos de evacuação por direção para cada simulação.

Tabela 2. Identificação de Gargalos

Simulação	Norte (s)	Sul (s)	Leste (s)	Oeste (s)
1	194	190	361	359
2	200	211	143	141
3	112	113	455	452
4	107	107	204	204
5	111	117	219	227
6	127	110	143	143
7	111	111	201	387

Os resultados indicam que as direções Leste e Oeste frequentemente apresentam tempos de evacuação mais altos, especialmente nas simulações com portas limitadas (Simulações 3, 5 e 7), sugerindo que estas áreas são mais propensas a congestionamentos. A Simulação 3, com 8000 pessoas e apenas as portas Leste e Oeste disponíveis, mostrou os maiores tempos de evacuação, indicando que a distribuição das saídas de emergência afeta diretamente a eficiência da evacuação. Além disso, a Simulação 7, que simula a perda de uma saída durante a evacuação, destaca a vulnerabilidade das rotas de evacuação à indisponibilidade de saídas.

Esses resultados destacam a importância de considerar a distribuição e o número de portas de saída na elaboração de planos de evacuação. As simulações com todas as portas disponíveis consistentemente mostraram tempos de evacuação menores, enquanto as simulações com portas limitadas apresentaram tempos significativamente maiores, aumentando o risco de congestionamento e pânico.

Ameaças à Validade. No que tange a validade interna deste estudo pode-se considerar a simplificação dos cenários, não capturando todos os comportamentos possíveis dos indivíduos durante uma evacuação real. Para mitigar essa ameaça foram utilizados dados empíricos e literatura existente para calibrar os comportamentos dos agentes. Especificamente, os comportamentos dos agentes foram calibrados com base em estudos observacionais sobre evacuações de emergência em locais de grande público, como os relatados por [Helbing et al. 2000], que analisa a dinâmica das multidões durante

evacuações e oferece parâmetros como velocidade de movimento e resposta a sinais de emergência. Além disso, utilizamos o trabalho de [X. Pan and Law 2017], que descreve o comportamento de pedestres em situações de pânico, para ajustar o modelo de comportamento dos agentes, particularmente em relação à sua reação a situações de pânico e escolha de rotas.

Sobre a validade externa, a generalização dos resultados para outros tipos de eventos ou locais pode ser limitada, uma vez que o estudo foi focado em estádios. A mitigação desta ameaça pode ser realizada como trabalhos futuros, através da aplicação do modelo a diferentes tipos de edificações e eventos, ajustando os parâmetros conforme necessário para refletir as condições específicas de cada contexto.

5. Considerações Finais e Trabalhos Futuros

Os resultados destacaram a importância crítica de múltiplas rotas de evacuação desobstruídas e a densidade de ocupação como fatores determinantes para a segurança e eficiência das evacuações. As simulações demonstraram que a disponibilidade de saídas de emergência e a densidade de ocupação afetam significativamente o tempo de evacuação e a formação de congestionamentos.

A modelagem baseada em agentes trouxe indícios de que pode ser uma abordagem eficaz para avaliar e otimizar estratégias de evacuação. Estudos adicionais e a implementação dos resultados em construções reais são necessários para reforçar as evidências. As simulações fornecem um caminho para testar diversos cenários e auxiliar no planejamento de evacuações em estádios e outros locais de grande público, além de viabilizarem estudos do uso intensivo de tecnologia em espaços urbanos [Graciano Neto and Kassab 2023].

Para trabalhos futuros, recomenda-se a aplicação do modelo desenvolvido a outros tipos de edificações, como shopping centers, aeroportos e centros de convenções, para avaliar a generalização e a eficácia das estratégias de evacuação em diferentes contextos. Além disso, a integração de dados em tempo real, como sensores de movimento e câmeras de segurança, pode aprimorar a precisão e a adaptabilidade das simulações, permitindo ajustes dinâmicos durante eventos reais. A colaboração com autoridades de segurança pública e gestores de eventos para implementar e testar as estratégias desenvolvidas em exercícios de evacuação real pode validar e refinar os modelos.

Referências

- ABNT (2001). Nbr 9077: Saídas de emergência em edifícios.
- Aguiar, L., Zaghetto, A., Zaghetto, C., Ralha, C., and Vidal, F. (2016). Demiourgos: Simulação baseada em agentes para análise da evolução de camuflagem em seres vivos. In *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação*, pages 092–099, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Bar-Yam, Y. (2019). *Dynamics of complex systems*. CRC Press.
- Barboza, T., Baião, F. A., and Santoro, F. M. (2019). Uma estratégia baseada em regras para instanciação, validação e simulação de modelos de processos intensivos em conhecimento. *iSys-Brazilian Journal of Information Systems*, 12(1):76–99.
- Beyki, S. M., Santiago, A., Laím, L., and Craveiro, H. D. (2023). Evacuation simulation under threat of wildfire—an overview of research, development, and knowledge gaps. *Applied Sciences*, 13(17):9587.

- Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the national academy of sciences*, 99(suppl_3):7280–7287.
- Camilo, J. A. P., Gavião, L. O., and Kostin, S. (2020). Priorização de projetos do segmento espacial por processo de análise hierárquica. *Revista Brasileira de Estudos de Defesa (RBED)*.
- Chang, K.-H., Wu, Y.-Z., Su, W.-R., and Lin, L.-Y. (2024). A simulation evacuation framework for effective disaster preparedness strategies and response decision making. *European Journal of Operational Research*, 313(2):733–746.
- Coutinho, E. F., Maia, D. J. H., Bezerra, W. L. B., and dos Santos Abreu, A. W. (2020). Avaliando o custo de contratos inteligentes em aplicações blockchain por meio de ambientes de simulação. In *II MSSiS*, pages 56–65. SBC.
- de Almeida Molina, S., Costa, M. G. N., Nazário, A. G., Paiva, D. M. B., and Cagnin, M. I. (2023). Cenários abstratos de tratamento de exceções na interoperabilidade de processos-de-processos de negócios. In *V MSSiS*, pages 11–20. SBC.
- de França, B. B. N. and Travassos, G. H. (2015). Experimentation with dynamic simulation models in software engineering. *Springer*.
- Duarte, R. P., Zamith, J. M., Silva, M., and Zamith, M. (2022). Modelo de simulação urbana baseada em multiagente. In *Anais Estendidos do XVIII SBSI*, pages 261–268. SBC.
- Foini, D., Rzyska, M., Baschmakov, K., and Murino, S. (2023). Crowdlogo: crowd simulation in netlogo. *arXiv preprint arXiv:2302.11036*.
- Ghaffarzadegan, N., Majumdar, A., Williams, R., and Hosseinichimeh, N. (2023). Generative agent-based modeling: Unveiling social system dynamics through coupling mechanistic models with generative artificial intelligence. *arXiv preprint arXiv:2309.11456*.
- Graciano Neto, V. V. and Kassab, M. (2023). *What Every Engineer Should Know About Smart Cities*. CRC Press - Taylor & Francis. 1st Edition. 254 p.
- Gwynne, S., Galea, E. R., Owen, M., Lawrence, P. J., and Filippidis, L. (1999). A review of the methodologies used in the computer simulation of evacuation from the built environment. *Building and Environment*, 34(6):741–749.
- Helbing, D., Farkas, I., and Vicsek, T. (2000). Simulating dynamical features of escape panic. *Nature*, 407(6803):487–490.
- Ladyman, J. and Wiesner, K. (2020). *What is a complex system?* Yale University Press.
- Macal, C. M. and North, M. J. (2005). Tutorial on agent-based modeling and simulation. In *Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2005.*, pages 14–pp. IEEE.
- Mahmudzadeh, A., Ghorbani, M., and Hakimelahi, A. (2020). Providing an emergency evacuation model for the stadium. *Transportation research procedia*, 48:620–631.
- Wang, C., Zhu, C., Xiao, K., Tang, Y., and Zhen, H. (2023). Visualization of emergency evacuation physical behavior under multi-agent decision-making. *Applied Sciences*, 13(9):5509.
- Wilensky, U. (1999). Netlogo: A simple environment for modeling complexity. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University.
- Wooldridge, M. and Jennings, N. R. (1995). Intelligent agents: Theory and practice. In *The Knowledge Engineering Review*, volume 10, pages 115–152.
- X. Pan, C.S. Han, K. D. and Law, K. (2017). A multi-agent based framework for the simulation of human and social behaviors during emergency evacuations. *AI Society*, 22(2):113–132.
- Zheng, X. and Liu, L. (2009). Modeling crowd evacuation of a building based on seven methodological approaches. *Building and Environment*, 44(3):437–445.