

# Evacuation Modeling in Flood Scenarios Using Agent-Based Modeling: A Systematic Literature Review

Pedro Machado Araújo<sup>1</sup>, Luiz Gustavo de Souza Lopes<sup>1</sup>, Diana F. Adamatti<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional (PPGMC)  
Universidade Federal do Rio Grande (FURG)  
Campus Carreiros – Rio Grande – RS – Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)  
Campus Serra – Caxias do Sul – RS – Brasil

pedro.machado.rs@hotmail.com, lglopes1789@gmail.com, dianaada@gmail.com

**Abstract.** *This paper presents a Systematic Literature Review (SLR) on the use of agent-based models for evacuation simulation in flood scenarios. The review was conducted in the Scopus and IEEE Xplore databases, covering studies published between 2020 and 2026. The search process resulted in 1,020 records, of which 273 studies were selected for detailed analysis and classified according to crisis type, simulation scale, representation of human behavior, and simulation tools. The results indicate a predominance of outdoor evacuation scenarios and a growing incorporation of behavioral aspects, such as risk perception, decision-making, and social interaction. The in-depth analysis of the selected studies revealed a trend toward integrating hydrological dynamics and agent-based models, as well as the increasing use of simulation as a decision-support tool. However, important challenges remain regarding the integration of physical, behavioral, and operational factors within a unified framework. This review contributes by identifying recent trends, research gaps, and challenges related to the integration of flood dynamics, human behavior, and decision support, providing a comprehensive overview of the state of the art in flood evacuation modeling.*

**Resumo.** *Este artigo apresenta uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre o uso de modelos baseados em agentes na simulação de evacuação em cenários de enchentes. A revisão foi conduzida nas bases de dados Scopus e IEEE Xplore, contemplando estudos publicados entre 2020 e 2026. O processo de busca resultou em 1.020 registros, dos quais 273 estudos foram selecionados para análise detalhada e classificados quanto ao tipo de crise, escala da simulação, representação do comportamento humano e ferramentas utilizadas. Os resultados indicam uma predominância de cenários de evacuação em ambientes abertos (outdoor) e uma crescente incorporação de aspectos comportamentais, como percepção de risco, tomada de decisão e interação social. A análise aprofundada dos estudos selecionados evidenciou uma tendência de integração entre modelos hidrológicos e modelos baseados em agentes, bem como o uso crescente da simulação como ferramenta de suporte à decisão. Entretanto, permanecem desafios relacionados à integração simultânea de fatores físicos, comportamentais e operacionais em uma única abordagem. Dessa*

*forma, esta RSL contribui ao identificar tendências recentes, lacunas de pesquisa e desafios relacionados à integração entre dinâmica da inundação, comportamento humano e suporte à decisão, fornecendo uma visão abrangente do estado da arte na modelagem de evacuação em cenários de enchentes.*

## **1. Introdução**

O aumento na frequência e intensidade de eventos extremos nas últimas décadas tem ampliado significativamente os riscos associados a desastres naturais em diferentes regiões do mundo, estando diretamente relacionado às mudanças climáticas e às transformações ambientais globais [IPCC 2021, UNDRR 2019]. Entre esses eventos, as enchentes destacam-se pela alta recorrência e pelo impacto direto sobre populações urbanas e rurais, frequentemente resultando em perdas humanas, deslocamentos forçados e danos à infraestrutura [Winsemius et al. 2016]. Além de fatores climáticos, aspectos como o crescimento urbano desordenado e a ocupação de áreas de risco contribuem significativamente para o aumento da vulnerabilidade das comunidades expostas [IPCC 2022].

No contexto brasileiro, as enchentes têm se tornado cada vez mais frequentes e severas, evidenciando fragilidades nos sistemas de prevenção e resposta a desastres [Marengo et al. 2020]. Eventos recentes de grande magnitude, como as enchentes ocorridas na região sul do país, demonstram não apenas o potencial destrutivo desses fenômenos, mas também os desafios enfrentados na coordenação de ações de evacuação e assistência à população afetada [Defesa Civil do Rio Grande do Sul 2024]. Tais situações reforçam a necessidade de desenvolvimento de ferramentas que auxiliem no planejamento e na tomada de decisão em cenários de crise.

A evacuação da população é uma das etapas mais críticas na gestão de desastres, sendo diretamente responsável pela redução de perdas humanas. No entanto, a eficácia desse processo depende de múltiplos fatores, incluindo a infraestrutura disponível, a comunicação de risco e, principalmente, o comportamento dos indivíduos diante da ameaça [Lindell and Perry 2012]. Estudos apontam que decisões humanas em situações de emergência são influenciadas por aspectos cognitivos, sociais e emocionais, tornando o processo de evacuação complexo e, muitas vezes, imprevisível [Mileti 1999].

Nesse contexto, a simulação computacional tem se consolidado como uma ferramenta relevante para a análise e o planejamento de evacuações. Em particular, modelos baseados em agentes (*Agent-Based Models* – ABM) permitem representar indivíduos como entidades autônomas, capazes de interagir entre si e com o ambiente, possibilitando a modelagem de comportamentos heterogêneos e dinâmicos [Axelrod 1997]. Essa abordagem tem sido amplamente utilizada para simular cenários de evacuação, incluindo a definição de rotas, a interação entre indivíduos e a influência de fatores ambientais.

Apesar dos avanços na utilização de modelos multiagentes, muitos estudos ainda apresentam limitações na representação dos mecanismos de tomada de decisão dos agentes. Em diversos casos, os comportamentos são modelados por meio de regras simples ou heurísticas fixas, o que pode não refletir adequadamente a complexidade das decisões humanas em situações reais de enchente. Além disso, observa-se que parte da literatura não considera de forma integrada aspectos como percepção de risco, interação social e adaptação dinâmica ao ambiente em transformação.

Por outro lado, estudos recentes têm buscado superar essas limitações ao incorporar modelos acoplados, dados empíricos de comportamento e mecanismos cognitivos mais sofisticados, como [Du et al. 2023, Nakanishi et al. 2020, Yang et al. 2020, Wang et al. 2020], evidenciando uma tendência de evolução na área, ainda que não totalmente consolidada.

Diante desse cenário, torna-se necessário compreender de forma sistemática como os modelos existentes têm abordado a simulação de evacuação em contextos de enchentes, especialmente no que se refere aos mecanismos de decisão dos agentes. Assim, este artigo tem como objetivo realizar uma Revisão Sistemática da Literatura, com o intuito de analisar como modelos baseados em agentes vêm sendo aplicados na simulação de evacuação em cenários de enchentes, de forma a identificar abordagens, softwares utilizados, limitações e oportunidades de pesquisa.

O artigo está dividido em 4 seções. Na seção 2 é apresentada a metodologia utilizada para a RSL. A seção 3 apresenta as discussões sobre os resultados encontrados, e na seção 4 são apresentadas as conclusões deste estudo.

## 2. Metodologia

### 2.1. Visão geral da metodologia

A presente RSL foi conduzida com o objetivo de identificar, analisar e selecionar estudos relevantes sobre modelagem de evacuação em cenários de crise. O processo completo de seleção dos estudos foi sistematizado por meio da metodologia PRISMA [Page et al. 2021], garantindo transparência e rastreabilidade das etapas de inclusão e exclusão dos artigos, conforme apresentado na Figura 1.

Inicialmente, optou-se por uma abordagem ampla, considerando diferentes tipos de desastres (como enchentes, terremotos, incêndios e outros), com o intuito de compreender o estado da arte da área de simulação de evacuação de forma geral.

A busca foi realizada nas bases de dados Scopus<sup>1</sup> e IEEE Xplore<sup>2</sup>, considerando o período de 2020 a 2026. Para garantir consistência entre as bases, foi definida uma estratégia de busca comum baseada nos conceitos de sistemas multiagentes, cenários de crise e aplicações em simulação, apoio à decisão e evacuação. A sintaxe da consulta foi adaptada às particularidades de cada mecanismo de busca, mantendo-se os mesmos termos e operadores lógicos.

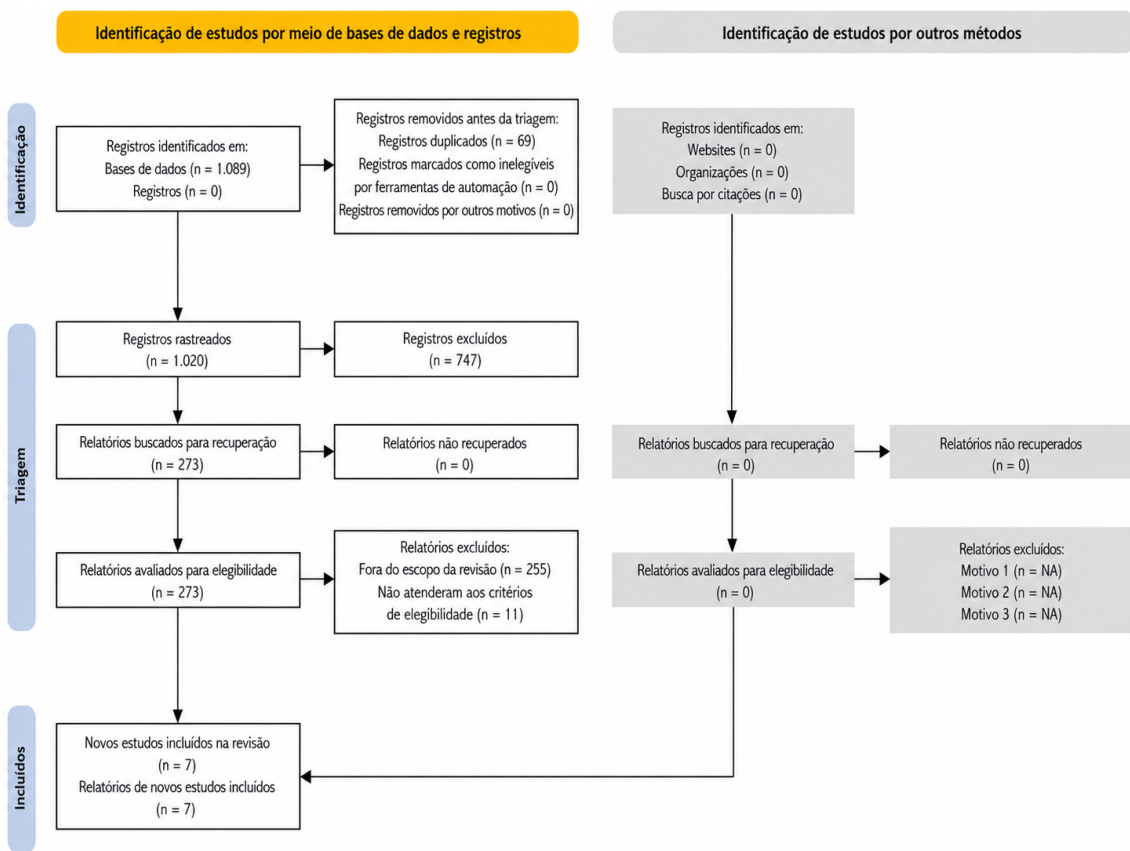
Na Scopus, foi utilizada a seguinte `string` de busca:

```
(TITLE-ABS-KEY (("agent-based model"OR "agent-based modeling"OR "multi-agent system"OR "multi-agent based simulation") AND ("crisis scenario"OR disaster OR emergency) AND (simulation OR "decision support"OR evacuation)) AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2027 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "re")))
```

---

<sup>1</sup><https://www.scopus.com/pages/home>

<sup>2</sup><https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>



**Figura 1. Fluxo de seleção dos estudos baseado nas diretrizes da metodologia PRISMA [Haddaway et al. 2022].**

Na IEEE Xplore, foi utilizada a seguinte consulta equivalente:

```
(( "agent-based model" OR "agent-based modeling" OR
"multi-agent system" OR "multi-agent based
simulation") AND ("crisis scenario" OR disaster OR
emergency) AND (simulation OR "decision support" OR
evacuation))
```

Adicionalmente, na IEEE Xplore foram aplicados manualmente os mesmos filtros utilizados na Scopus, restringindo os resultados ao período de 2020 a 2026 e aos tipos de publicação artigo, conferência e revisão.

Com isso, obte-se o resultado de 1.089 artigos. Após a remoção de duplicatas (n = 69), restaram 1020 estudos para a etapa de triagem. Esta RSL foi realizada entre Fevereiro e Maio de 2026.

Os critérios de inclusão, exclusão e possível análise utilizados na classificação dos artigos são apresentados na Tabela 1. Os critérios foram definidos a partir do escopo da revisão e utilizados como referência para a classificação dos estudos durante a triagem. A categoria “talvez” correspondeu aos estudos considerados potencialmente relevantes para a revisão, mas que foram mantidos como segunda prioridade diante do número de estudos classificados como “incluir”. Como a quantidade de estudos incluídos na primeira etapa foi considerada suficiente para a continuidade da análise, os estudos classificados como “talvez” não foram encaminhados para as etapas subsequentes.

**Tabela 1. Códigos e critérios de classificação dos artigos**

| <b>Código</b> | <b>Decisão</b> | <b>Motivo padronizado</b>                                                |
|---------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------|
| E1            | EXCLUIR        | Telecomunicações emergenciais/alocação de rede; foco técnico             |
| E2            | EXCLUIR        | Energia, grid, V2G; crise tratada como operação técnica                  |
| E3            | EXCLUIR        | Algoritmo técnico/Multi-agent Systems (MAS) sem humano/otimização        |
| E4            | EXCLUIR        | Transporte/tráfego em operação normal                                    |
| E5            | EXCLUIR        | Artigo metodológico genérico (framework, <i>design</i> , <i>how-to</i> ) |
| E6            | EXCLUIR        | Não aborda cenário de crise ou desastre                                  |
| E7            | EXCLUIR        | <i>Supply chain</i> /impacto econômico indireto                          |
| E8            | EXCLUIR        | Emergência em saúde com foco operacional/operação hospitalar             |
| M1            | TALVEZ         | Crise explícita com foco em infraestrutura                               |
| M2            | TALVEZ         | Emergência sem evacuação clara                                           |
| M3            | TALVEZ         | Emergência com evacuação específica                                      |
| I1            | INCLUIR        | ABM/MAS aplicado à evacuação                                             |
| I2            | INCLUIR        | ABM/MAS focado em comportamento humano cognitivo                         |
| I3            | INCLUIR        | Resposta humana a alertas e decisões                                     |
| I4            | INCLUIR        | Grupos vulneráveis em cenários de crise                                  |

## 2.2. Processo de seleção dos estudos

O processo de seleção foi estruturado em três camadas sequenciais de filtragem e análise.

### 2.2.1. Camada 1 – Triagem inicial

Na Camada 1, todos os 1.020 artigos foram organizados em uma tabela contendo os seguintes atributos: fonte, ano de publicação, tipo de documento, título, decisão de inclusão (Decisão  $C_x$ ), motivo da decisão e código de classificação. A decisão  $C_x$  foi categorizada em três possibilidades: incluir, talvez e excluir. Apenas os artigos classificados como “incluir” foram mantidos para a próxima etapa, após leitura do *título* e *resumo* de todos os estudos, resultando em um total de 273 artigos (Tabela 2).

**Tabela 2. Distribuição dos estudos na Camada 1 por decisão inicial**

| Decisão $C_x$ | Quantidade  | Porcentagem(%) |
|---------------|-------------|----------------|
| EXCLUIR       | 495         | 48,53          |
| TALVEZ        | 252         | 24,71          |
| INCLUIR       | 273         | 26,76          |
| <b>Total</b>  | <b>1020</b> | <b>100</b>     |

### 2.2.2. Camada 2 – Análise dos estudos

Na Camada 2, os 273 artigos selecionados foram analisados com base em critérios mais específicos relacionados ao escopo da pesquisa, incluindo *tipo de crise*, *escala da simulação*, *nível de representação do comportamento humano* e *ferramenta de simulação utilizada*.

Nesta etapa, foi realizada uma leitura vertical dos estudos, concentrando-se principalmente nas seções de *Introdução* e *Conclusões*, com o objetivo de identificar as principais características metodológicas e conceituais de cada trabalho. A partir dessa análise, os artigos foram classificados segundo as categorias definidas para esta revisão, permitindo caracterizar o estado da arte da área e identificar tendências de pesquisa.

A Tabela 3 apresenta a distribuição dos estudos de acordo com o tipo de crise abordado. Observa-se que 46 estudos (16,85%) não puderam ser analisados em profundidade devido a restrições de acesso ou idioma (apenas artigos em português, espanhol e inglês foram considerados). Dessa forma, as análises subsequentes relacionadas à escala da simulação, modelagem do comportamento humano e ferramentas utilizadas consideraram apenas os estudos para os quais foi possível realizar a leitura da introdução e das conclusões.

As Tabelas 3, 4 e 5 apresentam os resultados da classificação dos estudos quanto à escala da simulação, modelagem do comportamento humano e ferramentas utilizadas, permitindo uma visão abrangente das abordagens encontradas na literatura. Para essas análises, foram considerados apenas os 227 estudos para os quais foi possível realizar a leitura da introdução e das conclusões, excluindo-se os 46 estudos já citados indisponíveis devido a restrições de acesso ou idioma.

Observa-se uma predominância de cenários *outdoor*, representando 59,03% dos estudos analisados. Esses trabalhos abordam evacuações em ambientes abertos, como cidades, bairros, regiões costeiras e áreas florestais, conforme apresentado na Tabela 4. Por

**Tabela 3. Distribuição dos estudos por tipo de crise (Camada 2)**

| <b>Tipo de crise</b>         | <b>Quantidade</b> | <b>Porcentagem(%)</b> |
|------------------------------|-------------------|-----------------------|
| Multirriscos                 | 76                | 27,84                 |
| Indisponível (acesso/idioma) | 46                | 16,85                 |
| Enchente                     | 39                | 14,29                 |
| Incêndio                     | 37                | 13,55                 |
| Terremoto                    | 18                | 6,59                  |
| Tsunami                      | 16                | 5,86                  |
| Furacão                      | 9                 | 3,30                  |
| Incidente Químico            | 9                 | 3,30                  |
| Ataque                       | 8                 | 2,93                  |
| Pandemia                     | 3                 | 1,10                  |
| Tornado                      | 3                 | 1,10                  |
| Vulcão                       | 3                 | 1,10                  |
| Incidente Nuclear            | 4                 | 1,47                  |
| Guerra                       | 1                 | 0,37                  |
| Deslizamento                 | 1                 | 0,37                  |
| <b>Total</b>                 | <b>273</b>        | <b>100</b>            |

outro lado, os cenários *indoor* correspondem a 40,97% da amostra e tratam de evacuações em ambientes confinados, como edifícios, residências e sistemas de transporte.

Considerando o objetivo deste trabalho, optou-se por focar exclusivamente nos cenários *outdoor*, uma vez que estão diretamente relacionados a evacuações em larga escala associadas a desastres naturais, especialmente enchentes. Dessa forma, os estudos classificados como *indoor* foram desconsiderados nas etapas subsequentes da revisão.

**Tabela 4. Escala dos estudos analisados**

| <b>Escala</b>  | <b>Quantidade</b> | <b>Porcentagem(%)</b> |
|----------------|-------------------|-----------------------|
| <i>Outdoor</i> | 134               | 59,03                 |
| <i>Indoor</i>  | 93                | 40,97                 |
| <b>Total</b>   | <b>227</b>        | <b>100</b>            |

Os resultados indicam que 54,63% dos estudos apresentam representação explícita do comportamento cognitivo, incorporando aspectos como percepção de risco, tomada de decisão, interação social e mecanismos cognitivos. Por outro lado, 40,09% adotam representações simplificadas, geralmente modelando os indivíduos por meio de regras predefinidas ou comportamentos restritos ao processo de evacuação. Apenas 5,29% dos estudos não apresentam representação do comportamento cognitivo em seus modelos. Esses resultados sugerem uma tendência da literatura em incorporar fatores comportamentais na modelagem de evacuação, embora ainda exista uma parcela significativa de trabalhos que utiliza representações simplificadas dos agentes, conforme apresentado na Tabela 5.

A ferramenta de simulação utilizada em cada estudo foi analisada com o objetivo de caracterizar as tecnologias e plataformas mais frequentemente empregadas na modelagem de evacuação em cenários de crise. Para essa classificação, foram consideradas

**Tabela 5. Classificação da representação do comportamento cognitivo nos estudos**

| Nível de comportamento | Quantidade | Porcentagem (%) |
|------------------------|------------|-----------------|
| Explícita              | 124        | 54,63           |
| Simplificada           | 91         | 40,09           |
| Ausente                | 12         | 5,29            |
| <b>Total</b>           | <b>227</b> | <b>100</b>      |

explicitamente as ferramentas identificadas durante a leitura dos artigos. As categorias NetLogo<sup>3</sup>, Unity<sup>4</sup>, GAMA<sup>5</sup>, Python<sup>6</sup>, Mesa<sup>7</sup> e MATLAB<sup>8</sup> representam plataformas recorrentes na literatura de simulação baseada em agentes. Os estudos que utilizaram outras ferramentas foram agrupados na categoria **Outro**, desde que a ferramenta estivesse explicitamente mencionada no texto. Já os trabalhos que não informaram a ferramenta utilizada foram classificados como **Não informado**.

Cabe destacar que a Tabela 6 foi construída a partir de 225 estudos. Embora os dois artigos classificados como revisão da literatura (*review*) tenham sido considerados na análise geral da revisão sistemática, eles não foram incluídos nesta contabilização por não apresentarem informações sobre ferramentas ou plataformas de simulação.

**Tabela 6. Ferramentas utilizadas nos estudos analisados**

| Ferramenta    | Quantidade | Porcentagem (%) |
|---------------|------------|-----------------|
| Outro         | 93         | 41,33           |
| NetLogo       | 59         | 26,22           |
| Não informado | 35         | 15,56           |
| Unity         | 12         | 5,33            |
| GAMA          | 11         | 4,89            |
| Python        | 10         | 4,44            |
| Mesa          | 4          | 1,78            |
| MATLAB        | 1          | 0,44            |
| <b>Total</b>  | <b>225</b> | <b>100,00</b>   |

A categoria **Outro** representa a maior parcela dos estudos analisados (41,33%), indicando uma grande diversidade de plataformas empregadas na área. Entre as ferramentas identificadas individualmente, destaca-se o NetLogo (26,22%), amplamente utilizado em simulações baseadas em agentes devido à sua simplicidade de implementação e ampla adoção acadêmica. Também foram identificados estudos utilizando Unity, GAMA, Python, Mesa e MATLAB, embora em menor frequência. Além disso, 15,56% dos trabalhos não informaram explicitamente a ferramenta utilizada, dificultando análises mais detalhadas sobre os ambientes de desenvolvimento empregados.

<sup>3</sup><https://www.netlogo.org/>

<sup>4</sup><https://unity.com/>

<sup>5</sup><https://gama-platform.org/>

<sup>6</sup><https://www.python.org>

<sup>7</sup><https://github.com/projectmesa/mesa>

<sup>8</sup><https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

A concentração de estudos na categoria **Outro** indica uma elevada heterogeneidade tecnológica entre os estudos analisados. Embora o NetLogo seja a ferramenta individualmente mais utilizada, sua frequência não caracteriza o predomínio de uma única plataforma. Esse cenário sugere que os pesquisadores adotam diferentes ambientes de acordo com as características específicas das simulações, mas também pode dificultar a reprodução, comparação e reutilização dos modelos desenvolvidos.

### 2.2.3. Camada 3 – Seleção final

Na Camada 3, foi realizada uma filtragem direcionada, considerando apenas artigos que atendiam simultaneamente aos seguintes critérios: *tipo de crise relacionado a enchentes*, *simulações em ambiente outdoor* e *presença de comportamento humano avançado*. Essa etapa resultou em **18 artigos**, que foram submetidos a uma leitura completa para avaliação detalhada de relevância. Ao final desse processo, **7 artigos** foram selecionados para compor a base teórica da pesquisa, como apresentado na Tabela 7.

Os dados e planilhas utilizados nas etapas de seleção e análise dos estudos estão disponíveis no repositório do projeto no Github<sup>9</sup>.

## 3. Discussões

Os resultados da RSL demonstram que os modelos baseados em agentes têm sido amplamente empregados na modelagem de evacuação em cenários de enchentes. Embora os estudos relacionados especificamente a enchentes representem 14,29% dos trabalhos analisados, constituindo a segunda categoria de crise mais frequente, atrás apenas dos estudos classificados como multirriscos (27,84%), observa-se um interesse crescente da comunidade científica em compreender a dinâmica da evacuação nesse contexto. Os trabalhos analisados evidenciam uma tendência de integração entre dinâmica hidrológica, infraestrutura de transporte e comportamento humano, reforçando a natureza multidimensional desse tipo de problema.

Uma característica comum entre os estudos selecionados é a busca por modelos mais integrados e representativos da realidade. Enquanto [Du et al. 2023] explora a relação entre fatores socio-hidrológicos, localização de abrigos e comportamento humano, estudos mais recentes ampliam essa integração ao incorporar a evolução temporal da inundação e seus efeitos sobre a acessibilidade da infraestrutura e o processo de tomada de decisão dos agentes [Yang et al. 2025]. Além disso, abordagens voltadas à simulação em tempo real permitem analisar simultaneamente a progressão do desastre e a resposta da população, aproximando os modelos de cenários operacionais reais [Lv et al. 2025].

Outro aspecto relevante identificado na literatura é a crescente valorização dos fatores comportamentais. Os estudos mais recentes deixam de tratar os indivíduos apenas como elementos de fluxo e passam a incorporar mecanismos relacionados à percepção de risco, adaptação ao ambiente e interação social. Nesse contexto, modelos como o D-RPD [Yang et al. 2020] destacam a importância da experiência prévia e da tomada de decisão sob incerteza. Da mesma forma, trabalhos que incorporam mecanismos de cooperação e ajuda mútua demonstram que fatores sociais podem influen-

---

<sup>9</sup><https://github.com/PedrodevSEC/Evacuation-Flood-ABM-RSL>

**Tabela 7. Síntese dos estudos selecionados quanto ao tipo de crise, modelagem do comportamento humano e ferramentas**

| <b>Referência</b>               | <b>Tipo de crise</b>            | <b>Comportamento humano</b>                                                                                                      | <b>Ferramenta</b> |
|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| [Kesamoon and Boonprasurt 2025] | Enchente                        | Participação ativa e interação social em ambiente colaborativo                                                                   | GAMA              |
| [Yang et al. 2025]              | Enchente (costeira)             | Decisão baseada em percepção de risco e condições dinâmicas do ambiente                                                          | NetLogo           |
| [Lv et al. 2025]                | Enchente                        | Adaptação dinâmica dos agentes com base na evolução da inundação em tempo real                                                   | NetLogo           |
| [Du et al. 2023]                | Enchente                        | Integração entre humano e dinâmica hidrológica (abordagem socio-hidrológica)                                                     | Outro             |
| [Nakanishi et al. 2020]         | Multirriscos (inclui enchentes) | Regras operacionais de evacuação com foco em fluxo e suporte à decisão                                                           | Outro             |
| [Yang et al. 2020]              | Enchente (chuva intensa)        | Modelo cognitivo baseado em reconhecimento de padrões ( <i>Pattern Recognition Primed Decision</i> – RPD) para tomada de decisão | Outro             |
| [Wang et al. 2020]              | Enchente                        | Interação social e mecanismos de cooperação (ajuda mútua entre agentes)                                                          | NetLogo           |

ciar significativamente a eficiência das evacuações [Wang et al. 2020]. Além do caráter analítico, algumas propostas também evidenciam o potencial da simulação como ferramenta prática de suporte à decisão e planejamento colaborativo [Nakanishi et al. 2020, Kesamoon and Boonprasurt 2025].

A comparação entre os estudos selecionados permite identificar três perspectivas principais de pesquisa. A primeira concentra-se na modelagem dos aspectos comporta-

mentais e cognitivos dos indivíduos, incorporando elementos como percepção de risco, tomada de decisão e interação social. A segunda prioriza a representação da dinâmica da inundação e sua influência sobre o processo de evacuação, buscando compreender como a evolução do desastre afeta a mobilidade da população e a acessibilidade da infraestrutura. Por fim, uma terceira perspectiva enfatiza o uso de modelos baseados em agentes como ferramentas de suporte à decisão e planejamento operacional. Essa diversidade evidencia que a evacuação em cenários de enchente envolve múltiplas dimensões interdependentes, exigindo a integração de fatores físicos, comportamentais e organizacionais.

A análise dos estudos também sugere uma evolução gradual da representação do comportamento humano. Enquanto trabalhos mais tradicionais utilizam regras operacionais e heurísticas para definir as ações dos agentes, pesquisas recentes incorporam mecanismos relacionados à adaptação dinâmica, percepção de risco e cooperação social. Essa mudança indica uma transição de modelos predominantemente reativos para abordagens capazes de representar processos decisórios mais próximos daqueles observados em situações reais de emergência.

Apesar dos avanços observados, a integração equilibrada entre os componentes físicos e comportamentais permanece como uma das principais lacunas identificadas. De modo geral, os estudos com maior detalhamento da dinâmica da inundação tendem a simplificar os mecanismos de tomada de decisão dos agentes. Em contrapartida, trabalhos que exploram aspectos cognitivos e sociais mais complexos frequentemente utilizam representações simplificadas do ambiente e dos processos hidrológicos. Essa separação evidencia que ainda existem dificuldades para desenvolver modelos capazes de representar simultaneamente a evolução do desastre e a complexidade do comportamento humano.

Os resultados da revisão indicam que a evacuação em enchentes deve ser compreendida como um fenômeno complexo, resultante da interação entre fatores ambientais, comportamentais e operacionais. Entretanto, nenhum dos estudos analisados apresentou uma integração equilibrada entre dinâmica hidrológica detalhada, representação avançada do comportamento humano e mecanismos de suporte à decisão. Essa lacuna representa uma oportunidade relevante para o desenvolvimento de novas abordagens capazes de combinar esses elementos de forma mais consistente.

#### **4. Conclusão**

Esta Revisão Sistemática da Literatura permitiu analisar o estado da arte da aplicação de modelos baseados em agentes na simulação de evacuação em cenários de enchentes. Os resultados evidenciaram uma crescente incorporação de aspectos comportamentais, bem como a integração entre fatores hidrológicos, infraestrutura de transporte e processos de tomada de decisão.

A análise dos estudos selecionados também permitiu identificar diferentes perspectivas de pesquisa e destacar limitações ainda presentes na literatura, especialmente relacionadas à representação integrada dos componentes ambientais, comportamentais e operacionais.

Dessa forma, esta revisão contribui ao sintetizar tendências atuais, identificar lacunas de pesquisa e fornecer uma base teórica para o desenvolvimento de modelos de evacuação mais abrangentes, capazes de apoiar o planejamento e a tomada de decisão em cenários de enchentes.

## 5. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## Referências

- Axelrod, R. (1997). *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration*. Princeton: Princeton University Press. ISBN 978-0-691-01567-5.
- Defesa Civil do Rio Grande do Sul (2024). Boletins e relatórios sobre as enchentes de maio de 2024 no rio grande do sul. Acesso em: 21 mar. 2026.
- Du, E., Wu, F., Jiang, H., Guo, N., Tian, Y., and Zheng, C. (2023). Development of an integrated socio-hydrological modeling framework for assessing the impacts of shelter location arrangement and human behaviors on flood evacuation processes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 27(7):1607–1626.
- Haddaway, N. R., Page, M. J., Pritchard, C. C., and McGuinness, L. A. (2022). Prisma2020: An r package and shiny app for producing prisma 2020-compliant flow diagrams, with interactivity for optimised digital transparency and open synthesis. *Campbell Systematic Reviews*, 18(2):e1230.
- IPCC (2021). Intergovernmental panel on climate change – climate change 2021: The physical science basis. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> – Acesso em: 20 mar. 2026.
- IPCC (2022). Intergovernmental panel on climate change – climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> – Acesso em: 20 mar. 2026.
- Kesamoon, C. and Boonprasurt, P. (2025). Enhancing local flood resilience: A participatory simulation-game framework for evacuation planning in thailand. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 130:105848.
- Lindell, M. K. and Perry, R. W. (2012). The protective action decision model: Theoretical modifications and additional evidence. *Risk Analysis*.
- Lv, W., Deng, F., Wang, J., Han, Y., and Yang, S. (2025). Large-scale real-time evacuation modeling during urban floods: A coupled agent-based multi-model framework. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 140:103075.
- Marengo, J. A. et al. (2020). Climate change and extreme events in brazil. *Revista Brasileira de Meteorologia*.
- Mileti, D. S. (1999). *Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States*. Joseph Henry Press, Washington, DC.
- Nakanishi, H., Wise, S., Suenaga, Y., and Manley, E. (2020). Simulating emergencies with transport outcomes sim (setosim): Application of an agent-based decision support tool to community evacuation planning. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 49:101657.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., et al. (2021). The prisma 2020

statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *International journal of surgery*, 88:105906.

UNDRR (2019). UN office for disaster risk reduction – global assessment report on disaster risk reduction 2019. <https://www.undrr.org/publication/global-assessment-report-disaster-risk-reduction-2019> – Acesso em: 21 mar. 2026.

Wang, Z., Huang, J., Wang, H., Kang, J., and Cao, W. (2020). Analysis of flood evacuation process in vulnerable community with mutual aid mechanism: An agent-based simulation framework. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(2).

Winsemius, H. C. et al. (2016). Global drivers of future river flood risk. *Nature Climate Change*.

Yang, Q., Sun, X., Liu, X., and Wang, J. (2020). Multi-agent simulation of individuals' escape in the urban rainstorm context based on dynamic recognition-primed decision model. *Water*, 12(4).

Yang, Y., Yin, J., Feng, W., Yang, L. E., and Wang, J. (2025). Dynamic flood evacuation modelling for coastal cities: A case study of shanghai. 125:105591.