



**Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)**

**Departamento de Estatística e Informática (DEINFO)**

**Epidemiology Computing**

**Jonas Albuquerque**

***Uma Abordagem Baseada em Autômatos Celulares para Simular a  
Disseminação de Epidemias***

**Vinicius Gustavo Barboza Silva**

**28 de Julho de 2025**

**Resumo:** A epidemiologia computacional representa um campo interdisciplinar emergente que combina ciência de dados, biologia, física e ciência da computação para modelar e prever a disseminação de doenças infecciosas. Neste artigo, propomos uma abordagem baseada em utilizar autômatos celulares com múltiplos estados para simular a dinâmica espaço-temporal de epidemias em populações homogêneas. Através de regras locais simples aplicadas sobre uma grade bidimensional, cada célula representa um indivíduo em um dos estados epidemiológicos clássicos. A modelagem incorpora fatores como taxa de transmissão, tempo de infecção e letalidade, permitindo a observação de comportamentos emergentes como surtos localizados, imunidade coletiva e extinção do agente infeccioso.

## 1. Introdução

Nas últimas décadas, apesar do notável avanço da medicina e da pesquisa farmacêutica, a humanidade continua enfrentando doenças infecciosas emergentes e novas ameaças virais com frequência e impacto crescentes. Muitos aspectos dos surtos epidêmicos ainda são pouco compreendidos, incluindo as origens de novos patógenos, os mecanismos de transmissão e a eficácia de longo prazo de intervenções como a vacinação. Como resultado, a epidemiologia tornou-se um campo essencial da saúde pública, especialmente na formulação de estratégias para prever, prevenir e responder a surtos de doenças infecciosas.

Ferramentas matemáticas e computacionais de modelagem vêm se tornando cada vez mais valiosas no apoio à análise epidemiológica e à tomada de decisões em saúde pública. Entre essas ferramentas, os autômatos celulares<sup>1</sup> (AC) oferecem uma estrutura promissora para simular sistemas dinâmicos complexos, como a propagação de epidemias.

Uma das principais vantagens dos autômatos celulares de múltiplos estados na modelagem epidemiológica, como visto no artigo da Dasalu<sup>2</sup>, é sua capacidade de representar diferentes estágios da infecção - como suscetível, exposto, infectado e recuperado - de maneira espacialmente explícita e com transições dinâmicas. Essa abordagem permite simular com maior fidelidade a progressão da doença dentro de uma população heterogênea, considerando tanto a proximidade física entre os indivíduos quanto o estado de saúde de seus vizinhos. Ao utilizar múltiplos estados, é possível incorporar complexidades como períodos de incubação, reinfecção, imunidade parcial e o efeito de intervenções localizadas, como isolamento ou vacinação seletiva. Dessa forma, os autômatos celulares multi estados tornam-se uma ferramenta poderosa para explorar cenários realistas e testar hipóteses sobre o comportamento de surtos epidêmicos em diferentes contextos sociais e geográficos.

## 2. Fundação Teórica

### 2.1 Estados Múltiplos

Com base no artigo de Bilotta<sup>3</sup>, um estado múltiplo refere-se à capacidade das células de assumirem mais de dois valores distintos, ao contrário dos modelos tradicionais binários, em que cada célula está limitada a dois estados. Em um CA de múltiplos estados, cada célula pode assumir valores inteiros dentro de um conjunto finito. Essa generalização permite representar com maior fidelidade sistemas mais complexos e realistas, em que as células não estão apenas “ativas” ou “inativas”, mas podem estar em diferentes fases, níveis de energia, estágios biológicos, entre outros.

Além de expandir a capacidade de modelagem, os CA com múltiplos estados exibem comportamentos dinâmicos que se assemelham a fenômenos contínuos, como ondas não lineares ou processos de reação-difusão. Isso os torna ferramentas poderosas para simulações de sistemas complexos em diversas áreas, como física, biologia e ciência da computação. Por sua flexibilidade e riqueza de comportamento emergente, os autômatos celulares de múltiplos estados são especialmente úteis para estudar dinâmicas que não são facilmente tratáveis por métodos matemáticos clássicos.

### 3. Metodologia

Neste artigo, implementamos um modelo de autômato celular de múltiplos estados para simular a propagação de uma doença infecciosa em uma população espacialmente distribuída. O modelo foi desenvolvido em Python e executado em uma grade retangular de dimensões 30 colunas por 15 linhas.

#### 3.1 Estados do Modelo

Cada célula da grade representa um indivíduo e pode assumir um dos quatro estados epidemiológicos:

- Suscetível (S): Indivíduo saudável e vulnerável à infecção.
- Infectado (I): Indivíduo atualmente infectado e capaz de transmitir a doença.
- Recuperado (R): Indivíduo que superou a infecção e adquiriu imunidade permanente.
- Morto (D): Indivíduo que não sobreviveu à doença e não participa mais da dinâmica.

#### 3.2 Parâmetros do Modelo

O modelo utiliza os seguintes parâmetros fixos para controlar a dinâmica da epidemia:

- Probabilidade de infecção( *Infection\_Probability*): 25% de chance de um suscetível infectar-se ao estar próximo de pelo menos um infectado.
- Duração da infecção( *Infection\_Duration*): 5 gerações, período durante o qual um indivíduo permanece infectado.
- Taxa de recuperação( *Recovery\_Rate*): 70%, chance de um infectado recuperar-se após o término da infecção.
- Taxa de mortalidade( *Mortality\_Rate*): 30%, chance de um infectado morrer ao fim do período infeccioso.

#### 3.3 Condições Iniciais e Execução

A simulação inicia com todos os indivíduos suscetíveis, exceto um infectado central localizado aproximadamente no meio da grade, para simular o foco inicial da epidemia. A evolução é exibida no terminal, utilizando cores para diferenciar os estados: azul para suscetíveis, vermelho para infectados, verde para recuperados e cinza para mortos, facilitando a visualização das dinâmicas espaciais e temporais da doença.

O modelo é executado por 50 gerações, com uma pausa de 0,3 segundos entre cada atualização para permitir a observação do comportamento do sistema. A cada geração, o estado atualizado da população é exibido no terminal.

## 4. Conclusão

O modelo de autômato celular com múltiplos estados desenvolvido neste estudo demonstrou ser uma ferramenta eficaz para simular a propagação espacial e temporal de uma epidemia em uma população estruturada. A representação explícita dos diferentes estágios da doença - suscetível, infectado, recuperado e morto - permitiu capturar dinâmicas complexas, como surtos localizados, taxas de recuperação e mortalidade, além da formação de áreas imunizadas.

Além da simplicidade e baixo custo computacional, o uso de autômatos celulares possibilita a incorporação de variações locais e estocásticas que refletem melhor a realidade epidemiológica em comparação a modelos matemáticos clássicos de caráter determinístico. Isso torna o modelo valioso tanto para fins educacionais quanto para a experimentação e análise de políticas de saúde pública em cenários hipotéticos.

Futuras extensões podem incluir mobilidade populacional, diferentes estratégias de intervenção (como vacinação e/ou quarentena), além da calibração do modelo com dados reais para aumentar sua aplicabilidade prática. Em suma, os autômatos celulares multiestados apresentam-se como uma abordagem promissora e flexível para apoiar o entendimento e controle de doenças infecciosas em contextos diversos.

## 5. Referências

- 1- BERTO, Francesco; TAGLIABUE, Jacopo. Cellular automata. 2012.
- 2- DASCALU, Monica et al. Applications of multilevel cellular automata in epidemiology. In: **Proceedings of the 13th WSEAS international conference on Automatic control, modelling & simulation**. 2011. p. 439-444.
- 3- BILOTTA, Eleonora et al. Generating Multi State Cellular Automata by using Chua's "Universal Neuron". **Asymptotic Methods in Non Linear Wave Phenomena**, p. 12-24, 2008.