



# 9º EnPE

## Encontro de Ensino, Pesquisa & Extensão

Patrocínio, MG, outubro de 2022

### ANÁLISE DE PARÂMETROS NA SIMULAÇÃO DE PROPAGAÇÃO DE INCÊNDIOS BASEADOS EM AUTÔMATOS CELULARES

Heitor Castro Brasiel, Amanda Cissa Reis Dias, Danielli Araújo Lima  
<{heitor.brasiel,amanda.dias}@estudante.iftm.edu.br>,<danielli@iftm.edu.br>  
Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM) Campus Patrocínio  
Laboratório de Inteligência Computacional e Robótica (LICRo)  
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

**Resumo:** As queimadas em diferentes biomas brasileiros têm sido cada vez mais frequentes, deixando cada vez mais consequências para os habitantes, fauna e flora da região afetada. Pensando nisso foi desenvolvido um modelo computacional baseado em autômato celular e inteligência artificial para simular um ambiente real por meio de um software no qual é possível prever qual será o comportamento do fogo que se inicia em um local pré-determinado e se espalha por um período de tempo. Para a simulação foi desenvolvido, na Linguagem C Padrão, um modelo matemático-computacional baseado em autômatos celulares, em que são dadas regras matemáticas para ordenar sua evolução no tempo gerando resultados mais precisos.

**Palavras-chave:** Sistemas complexos, propagação de incêndios, autômatos celulares, modelagem computacional, inteligência artificial, computação bio-inspirada.

#### Introdução

As queimadas muitas das vezes acontecem para a prática de atividades agropecuárias, já que tem baixo custo para o preparo do solo. Além disso, as queimadas podem ser naturais ou até mesmo humanas (FERREIRA et al., 2022). Casos de queimadas humanas, envolvem as queimadas acidentais e criminosas (quando há intenção de provocar as queimadas). Além disso, existem as queimadas naturais, como por exemplo, temperaturas elevadas, o tempo seco, descargas elétricas, combustão espontânea, baixa umidade relativa do ar, atrito entre rochas e até atrito do pelo de alguns animais com a mata seca, contribuem para o surgimento do fogo.

O Cerrado é considerado um bioma resiliente, pois apresenta um rápido poder de recuperação, em curto período se recompõe. Ou seja, a vegetação do Cerrado é capaz de rebrotar após o fogo, atraindo até mesmo animais herbívoros em busca de forragem nova. Muitas espécies desses animais são capazes de seguir as queimadas, e se alimentar de insetos, e répteis atingidos pelo fogo (ALVARADO et al., 2019). Partindo desse contexto, o cenário do Cerrado pode ser considerado um sistema dinâmico, especialmente pelo clima

em constante transição. No entanto, no período de seca este bioma é extremamente afetado pelas queimadas, foco de estudo deste artigo.

Dessa forma, neste trabalho temos como objetivo modelar a propagação de queimadas nesse bioma através da técnica de autômato celular (AC). Além disso, serão realizados vários experimentos, considerando-se diversos tipos de vegetação: homogênea e heterogênea. Foi considerado o parâmetro de fogo e também o parâmetro de presença de um rio no meio da vegetação.

## Fundamentação teórica

As queimadas têm ocorrido de forma frequente em todo o território brasileiro, especialmente a partir do avanço do desmatamento para o aumento das áreas de pastagens e atividades econômicas vinculadas ao agronegócio. Além disso, o tempo seco e quente também está influenciando de forma significativa o aumento de propagação de incêndios em todo o país, e no Cerrado não é diferente, especialmente por ser uma região quente (MIRANDA et al., 2009). Assim, a partir das mudanças climáticas, propiciando o tempo cada vez mais quente e seco, aliado à ação natural dos ventos, pode fazer com que as chamas aumentem e propaguem-se de maneira devastadora. Outro fator que aumenta a probabilidade de grandes estragos no Cerrado é a ausência de chuvas no período de seca, fazendo com que as queimadas em larga escala ampliem-se (ALVARADO et al., 2019).

Tomando por base este contexto, os ACs são considerados uma importante ferramenta matemático-computacional capaz de modelarem sistemas dinâmicos e complexos (LIMA; LIMA, 2014). O AC é um modelo matemático-computacional capaz de modelar sistemas complexos com muito realismo, podendo até mesmo substituir a simulação numérica a partir de equações diferenciais. Os ACs são compostos por um conjunto de células ( $x_{ij}$ ) em um reticulado com uma dimensão ( $d$ ). Além disso, para simular a ação dinâmica dos ACs suas células sofrem uma transformação de estados (a partir dos estados das células vizinhas) por meio de uma regra de transição: determinísticas ou probabilistas (SOUZA; LIMA, 2019). Os ACs podem ser aplicados em diferentes contextos, dentre eles, podemos citar, robótica (SOUZA; LIMA, 2019), modelagem de doenças (MONTEIRO; FANTI; TESSARO, 2020) e até mesmo modelagem de queimadas (LIMA; LIMA, 2014), foco de nosso trabalho. Essa modelagem pode ser considerada um importante preditor para órgãos ligados ao meio ambiente a tomarem decisão em queimadas.

Diferentes trabalhos já foram propostos com o intuito de modelar os fogos e queimadas por meio de ACs, dentre eles podemos citar o trabalho de (LIMA; LIMA, 2014) em que o AC foi usado na forma bidimensional com regras probabilistas para a simulação em florestas homogêneas de diferentes focos de incêndios usando uma matriz de preferência para a simulação do fator vento. O modelo de (LIMA et al., 2020) faz uma modelagem da propagação de incêndios para ambientes fechados baseando-se em ACs e o foco é a evacuação segura e sem pânico de edificações prediais. Ademais, no trabalho de (FERREIRA et al., 2022) os autores fizeram uma melhoria do trabalho de (LIMA; LIMA, 2014) adicionando-se uma melhoria nos parâmetros por meio de algoritmos genéticos.

## Proposta

Inicialmente, conforme apresentado na Figura 1, os estados do AC são setados em  $T_A$ , posteriormente, um foco de incêndio é alocado ao reticulado. Neste momento, um incêndio é iniciado no reticulado  $T_{B_i}$ ,  $1 \leq i \leq 4$ . Ou seja, o fogo assume 4 estados possíveis dependendo de quanto tempo a vegetação está se queimando, neste sentido, a cada  $t = 2$

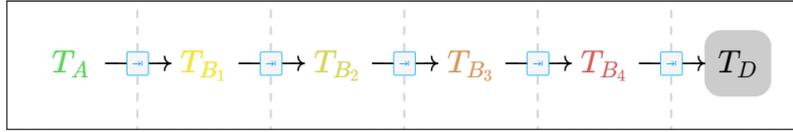


Figura 1 – Estados do AC para estados entre células: vivas, queimando e morta.

passos, o fogo muda a intensidade. Se a célula  $x_{ij}$  possui uma ou mais vizinhas em chamas, essa célula por sua vez, tem uma probabilidade não nula de se queimar em um momento posterior. Por fim, quando a queima atinge um determinado estado de queima, a árvore fica completamente destruída e vai para o estado  $T_D$ .

Outras variações são apresentadas, por exemplo, se a célula encontra a barreira de um rio, o rio não pega fogo, logo o incêndio, neste sentido, pode ser interrompido pela presença de água. Ademais, diferentes tipos de vegetação foram adicionados, abordagem heterogênea. Sendo assim, diferentes probabilidades de queima são observadas a partir de propriedades diferentes de vegetações: úmida, intermediária e seca.

### Resultados experimentais

Os experimentos aqui realizados tem por objetivo realizar comparações qualitativas acerca do efeito de alteração de alguns dos parâmetros do modelo de propagação de incêndios em florestas homogêneas, considerando-se ACs bidimensionais (2D) com reticulados de  $100 \times 100$  células, com regras de transição probabilísticas e contorno não-periódico.

O primeiro experimento apresentado na Figura 2 demonstra a mesma vegetação exposta a diferentes tempo de queima que está relacionado com a velocidade de queima da célula. Na Figura 2(a) o fogo possui um tempo de queima menor  $t$ , logo, a célula que está pegando fogo consome o combustível rapidamente se tonando preta. Nas demais Figuras 2(b), 2(c) e 2(d) temos casos de probabilidades intermediárias. Na Figura

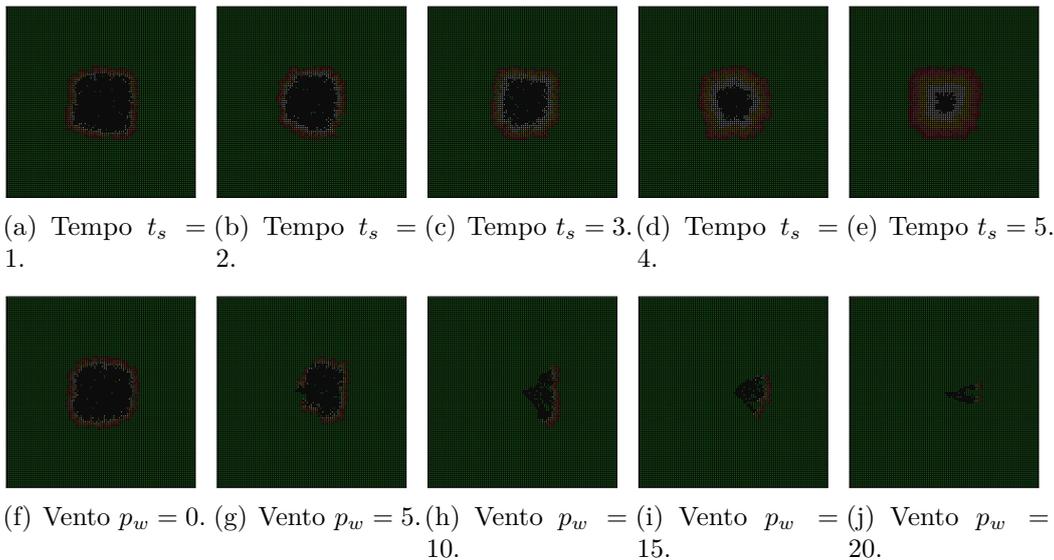


Figura 2 – Diferentes cenários de simulação de ACs bidimensionais considerando-se a ausência e a presença do fator vento.

2(e) foi definido tempo de queima maior então o fogo demora mais para consumir todo o combustível até se apagar. Da mesma forma, na Figura 2(f) que a presença de vento  $p_w$

(direção do vento) é quase que insignificante, já para as Figuras 2(g), 2(h), 2(i) e 2(j) as intensidades de vento aumentaram gradativamente, com probabilidades  $\{0, 5, 10, 15, 20\}$ , gerando um efeito visual de direção do vento para a direção leste.

O segundo experimento é apresentado na Figura 3 em que diferentes cenários são analisados, como por exemplo a existência de rios, vento, e uma vegetação homogênea ou a composição deles. Para todos os cenários, a simulação foi realizada considerando-se os seguintes instantes de tempo  $t = \{5, 20, 25, 50\}$ . Neste caso, a primeira simulação apresentada nas Figuras 3(a), 3(b), 3(c) e 3(d) consiste na simulação do vento em florestas homogêneas em 4 instantes de tempo  $t$  diferentes. A probabilidade de queima de uma célula cuja vizinhança está incendiada é de  $P(x_{ij}) = 60\%$ . Neste sentido, o vetor de direção do vento é no sentido leste, fazendo com que a parte direita do reticulado em  $t = 50$  seja completamente afetada pelo incêndio florestal. Na segunda simulação, apresentada nas

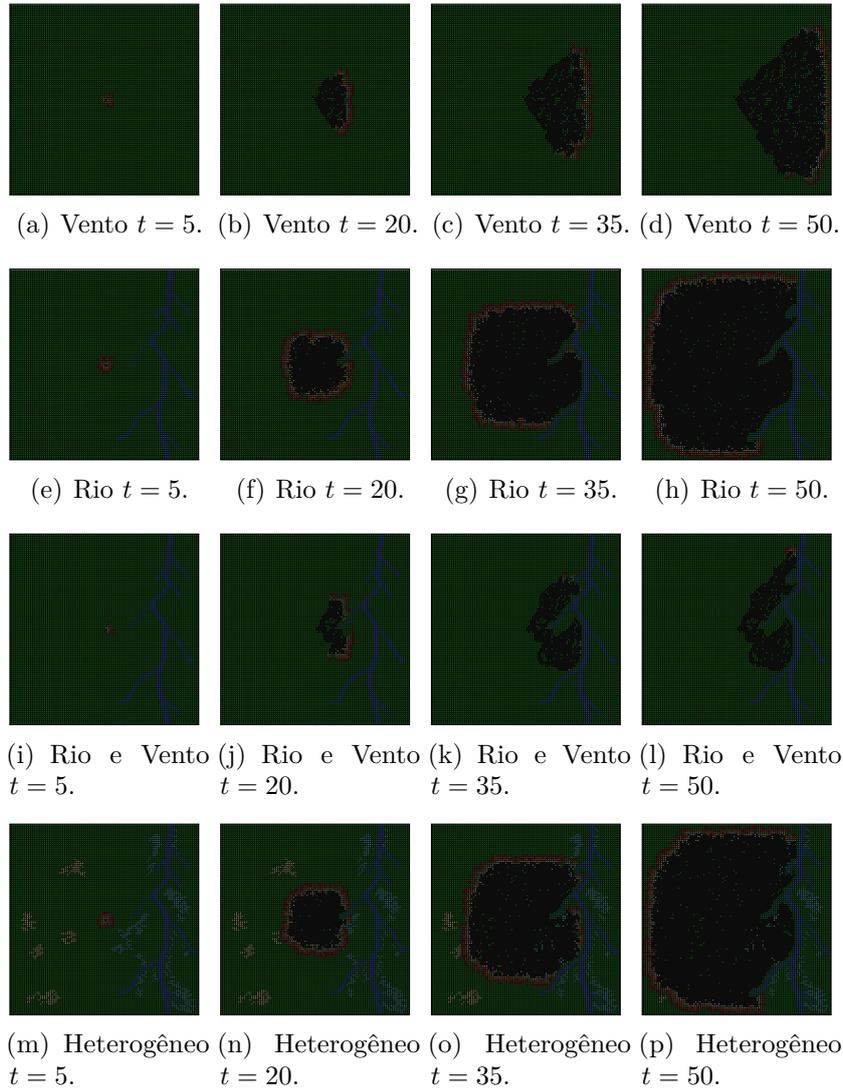


Figura 3 – Diferentes cenários com ACs bidimensionais considerando-se vegetação homogênea, heterogênea, com presença de rio e vento.

Figuras 3(e), 3(f), 3(g) e 3(h), temos um cenário em que um rio situa-se na posição leste do reticulado e neste caso o parâmetro vento não foi inserido, e assim, a propagação de incêndio florestal tem uma interrupção provocada pelo rio. Nas Figuras 3(i), 3(j), 3(k) e 3(l) temos que a propagação de incêndios ocorre de forma mais acelerada para a direção leste,

no entanto, a queima é interrompida por uma barreira física de água (rio). Posteriormente, nas Figuras 3(m), 3(n), 3(o) e 3(p) no último experimento de vegetação heterogênea, é possível perceber que a vegetação mais úmida tem maior dificuldade de espalhar o fogo que as vegetações intermediárias e secas, sendo esta um grande combustor para o fogo.

### **Considerações finais**

A partir da modelagem e simulação dos ACs por meio de diferentes cenários, foi possível perceber que os parâmetros podem afetar drasticamente o destino de uma queimada. Dessa forma, podemos observar que as queimadas sofrem influências a partir da intensidade de combustão, especialmente em vegetação mais seca. Outro parâmetro observado é o caso de que em vegetações homogêneas o fogo propaga-se de uma maneira mais padronizada e radial, exceto quando tem um rio. No caso de vegetação heterogênea, foi programado diferentes probabilidades de queima, e neste sentido, quanto mais úmido, menos é a chance de queima. Vimos também que é possível parar uma queimada a partir da presença de mananciais de água. Como trabalhos futuros esperamos a modelagem em diferentes cenários e principalmente a partir de biomas reais e também pretendemos estudar melhor cada um dos parâmetros aqui apresentados.

## Referências

- ALVARADO, S. T. et al. Effects of fire suppression policies on fire regimes in protected areas in the cerrado. **Biodiversidade Brasileira-BioBrasil**, n. 1, p. 200–200, 2019. 1, 2
- FERREIRA, M. E. A. et al. Automatic evolutionary adjustment of cellular automata model for forest fire propagation. In: SPRINGER. **International Conference on Cellular Automata for Research and Industry**. [S.l.], 2022. p. 235–245. 1, 2
- LIMA, D.; LIMA, H. Autômatos celulares estocásticos bidimensionais aplicados a simulação de propagação de incêndios em florestas homogêneas. In: SBC. **Anais do V Workshop de Computação Aplicada a Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais**. [S.l.], 2014. p. 15–24. 2
- LIMA, D. A. et al. A fire elitist cellular automaton-based model to verify pedestrian flow simulated in real environments using arduino. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**, v. 7, n. 1, 2020. 2
- MIRANDA, H. S. et al. Fires in the cerrado, the brazilian savanna. In: **Tropical fire ecology**. [S.l.]: Springer, 2009. p. 427–450. 2
- MONTEIRO, L.; FANTI, V.; TESSARO, A. On the spread of sars-cov-2 under quarantine: A study based on probabilistic cellular automaton. **Ecological Complexity**, Elsevier, v. 44, p. 100879, 2020. 2
- SOUZA, N. L. B.; LIMA, D. A. Tabu search for the surveillance task optimization of a robot controlled by two-dimensional stochastic cellular automata ants model. In: IEEE. **2019 Latin American Robotics Symposium (LARS), 2019 Brazilian Symposium on Robotics (SBR) and 2019 Workshop on Robotics in Education (WRE)**. [S.l.], 2019. p. 299–304. 2