

Autômatos Celulares: simulação de propagação do fogo

Rodrigo José Zonzin Esteves

Fevereiro de 2025

1 Introdução

Autômatos Celulares (AC) são modelos computacionais baseados em grades discretas, nos quais cada célula evolui ao longo do tempo de acordo com um conjunto de regras locais, estados pré-definidos e estados anteriores. O termo “Celular” diz respeito à disposição em grade dos estados.

Neste exercício, utilizou-se um AC dimensional, com $N = 50$, para a simulação da propagação do fogo.

2 Metodologia

O Código 1 a seguir apresenta o conjunto de regras do AC.

```
1 class ForestProp(CA):
2     def rule(self, x, y):
3         global QUEIMADO, QUEIMANDO, VAZIO, FLORESTA, pF
4
5         #estado atual
6         s = self[x, y]
7
8         #vizinhos
9         n = neighbors8(self, x, y)
10
11        #Estado queimado ou vazio: nao muda de estado.
12        if s == VAZIO or s == QUEIMADO:
13            return s
14
15        #Estado floresta: pode mudar para o estado queimando com probabilidade pf
16        #e se tiver pelo menos um vizinho queimando;
17        if s == FLORESTA:
18            p = random()
19
20            if p < pF and QUEIMANDO in n:
21                return QUEIMANDO
22
23            return s
24
25        #Estado queimando: muda para o estado queimado ap os um passo de tempo
26        if s == QUEIMANDO:
27            return QUEIMADO
```

Listing 1: Regras do autômato

3 Resultados

3.1 Cenário 1.0: borda superior esquerda com $pF = 0.10$

A Figura 1 apresenta as simulações do AC para o caso $d \approx P_{floresta}N^2 = 2475$. O valor d não é exato pois, para se inicializar a matriz em um ponto (x, y) , escolhe-se valores aleatórios para x e y . Existe a possibilidade de que o mesmo ponto (x_1, y_1) seja sorteado durante o preenchimento da matriz. Neste cenário, considerou-se $pF = 0.10$.

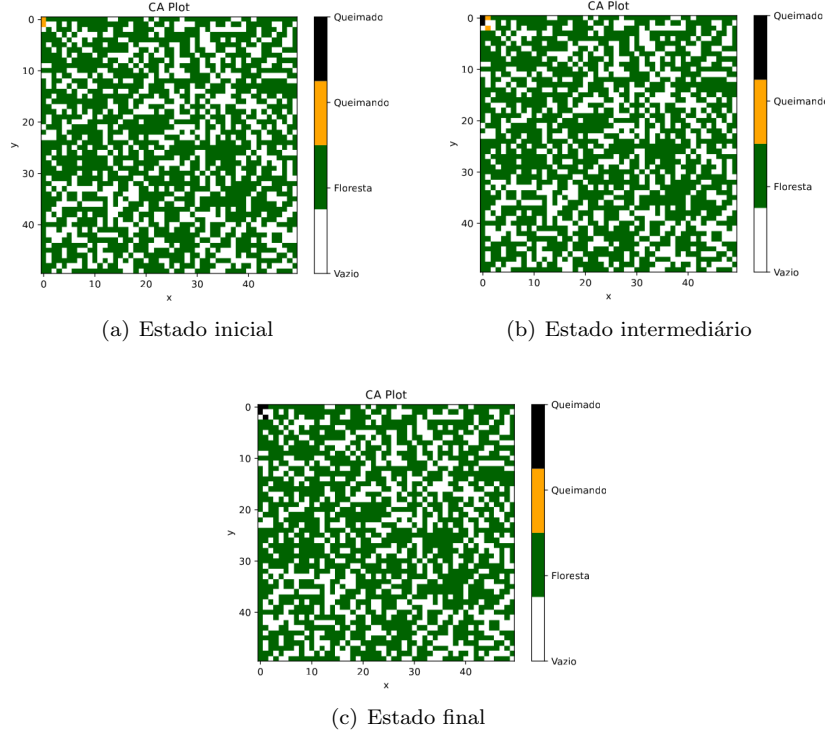


Figura 1: Resultados obtidos para o primeiro cenário

Como se observa, apenas 3 estados do AC foram gerados. Isso ocorre devido à baixa probabilidade pF de propagação do fogo. O fogo se extingue antes de passar para uma célula adjacente e a iteração termina com apenas 3 estados.

3.2 Cenário 1.1: borda superior esquerda com $pF = 0.30$

Para o Cenário 1.1, utilizando-se o mesmo d , foi obtido 18 cenários de propagação do fogo. Mais uma vez, devido à baixa probabilidade pF , o fogo se extinguiu antes das 50 iterações previstas. isso ocorreu mesmo com a disponibilidade de material nas células ao redor dos últimos pixels classificados como queimando.

3.3 Cenário 1.2: borda superior esquerda com $pF = 0.50$

Neste caso, o fogo não se extinguiu, e nem consumiu todo o material disponível. Em outras palavras, o fogo avançou muito lentamente.

3.4 Cenário 1.3: borda superior esquerda com $pF = 0.75$

No último caso, o fogo consumiu quase todo o domínio na última iteração. Apenas alguns elementos no centro permaneceram no estado Floresta. Para valores $pF > 0.75$, todo o domínio é consumido.

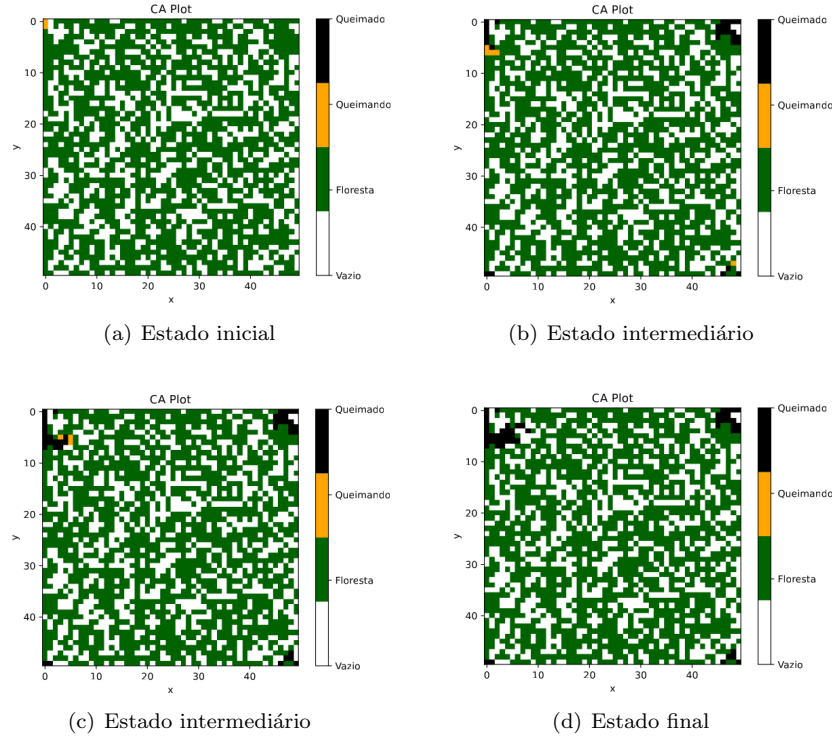


Figura 2: Resultados obtidos para o segundo cenário

3.5 Cenário 2: centro do domínio com $pF = 0.45$

Partindo do centro, o fogo se espalha concentricamente em todas as direções. No Estado Final, o fogo se extingui por não conseguir avançar. Isso ocorre mesmo com a disponibilidade de elemento combustível. Um comportamento interessante, é que ele primeiro se extingui na parte esquerda do domínio, e segue propagando-se pela direita até se apagar por completo.

3.6 Cenário 2.1: centro do domínio com $pF = 0.99$

Este cenário é bastante intuitivo. O fogo se inicia na posição (25, 25) e se espalha rapidamente até consumir quase todo o domínio. Pode-se observar alguns pixels de floresta no estado final. Eles estavam isolados dos demais.

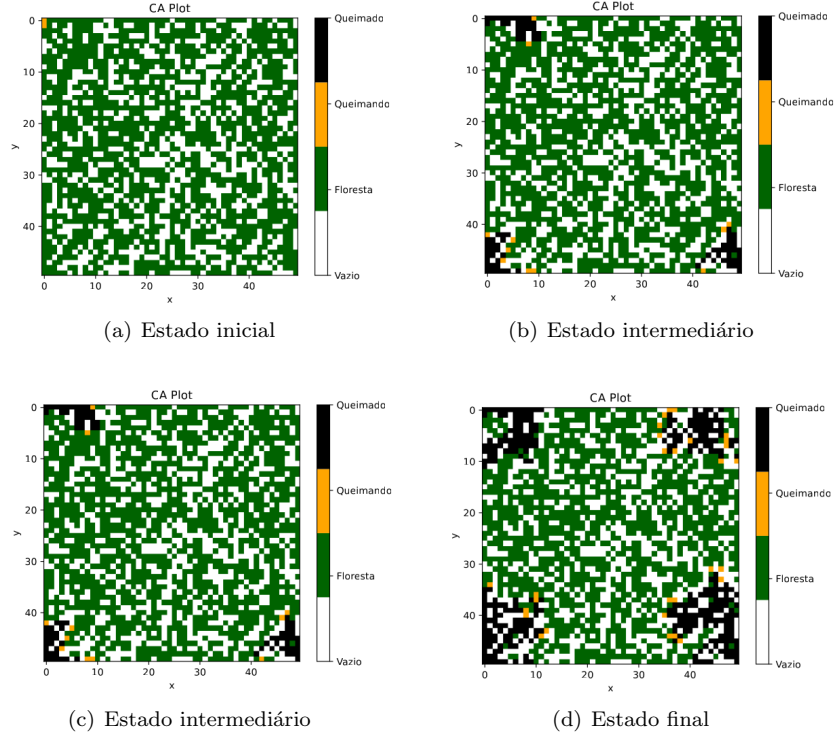


Figura 3: Resultados obtidos para o terceiro cenário

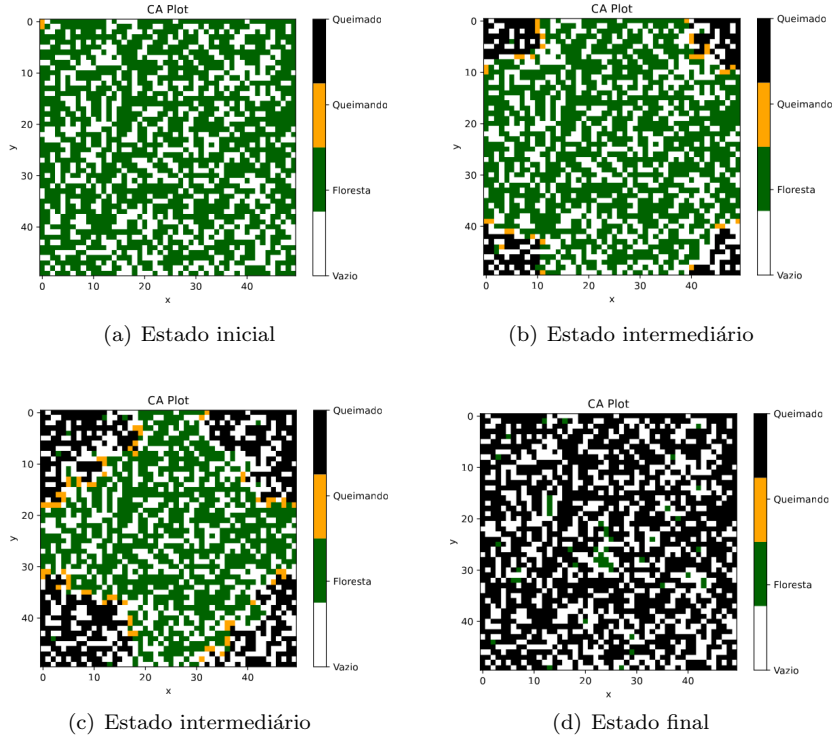


Figura 4: Resultados obtidos para o quarto cenário

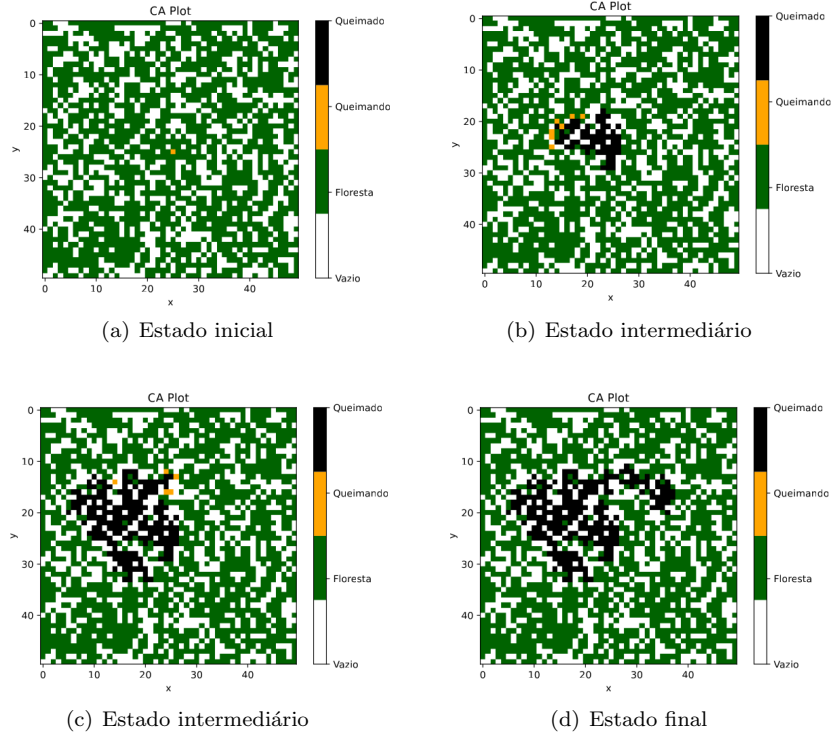


Figura 5: Resultados obtidos para o primeiro cenário

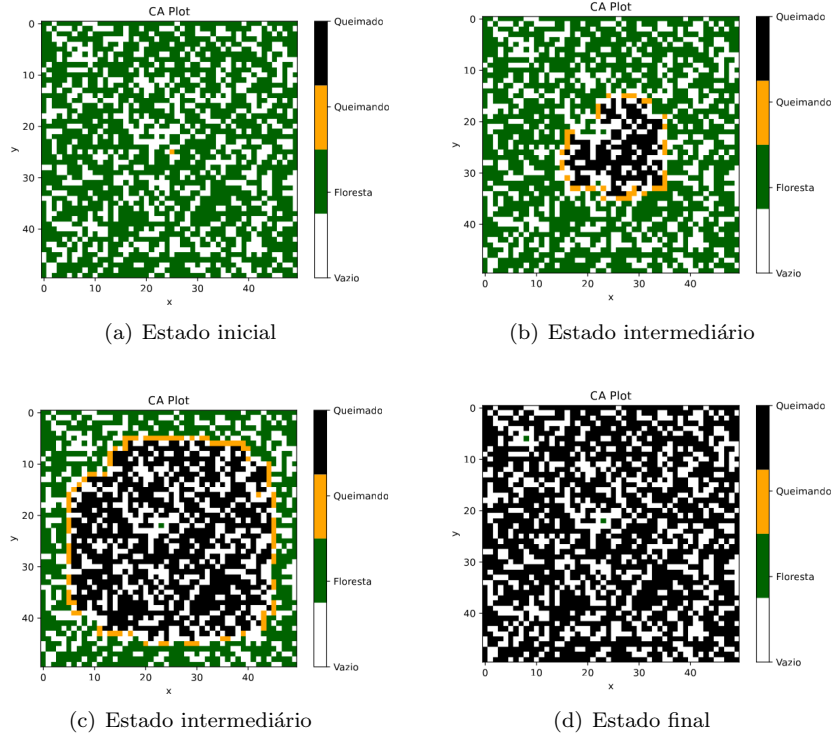


Figura 6: Resultados obtidos para o segundo cenário