Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada
CAP-465: Modelagem e Simulação do Sistemas Terrestres
Docente: Pedro Ribeiro de Andrade Neto
Discente: Mateus de Souza Miranda

Reprodução do método de simulação de espalhamento de fogo em um sistema Savana espacialmente homogêneo

1 Introdução

A simulação de propagação de incêndio em sistemas de savana é deveras importante para estudo sobre a sua dinâmica em vários casos de estudo, em termos de fatores climáticos, característica da vegetação e topográficas. A vista disso, o trabalho de Berjak e Hearne (2002), intitulado "*An improved cellular automaton model for simulating fire in a spatially heterogeneous Savanna system*" propõe duas abordagens de estudo do espalhamento de fogo, almejando desenhar um modelo matemático que possa ser aplicado tanto em cenário fictício quanto à dados de elevação.

Neste trabalho, os autores utilizaram fatores de vento e elevação de solo como principais influenciadores no espalhamento, bem como parâmetros de umidade, quantidade de combustível e tipos de vegetação. Para a simulação em cenário fictício, foi considerado dois tipos de paisagens: homogênea e heterogênea. Para o cenário real, foi selecionado a reserva *Mkuze Game*, localizada na África do Sul. Portanto, neste estudo foi proposto um método de autômato celular para simular a dinâmica de espalhamento de fogo, levando em conta três estados de transição: i) célula não queimada cell; ii) célula queimando, e iii) célula queimada.

1.1 Objetivo

Por esse motivo, objetiva-se reproduzir uma parte da metodologia de simulação de incêndio apresentada por Berjak e Hearne (2002), concernindo o cenário fictício de um sistema de Savana espacialmente homogêneo. Especificamente estudar e analisar o potencial de reprodução do método, e sobretudo sua eficiência, em termos de proximidade à vida real.

2 O Método

A metodologia trazida pelos autores consideram diversos aspectos físicos e químicos para descrever como se dá o espalhamento de incêndio, tais como efeito do vento, grau de inclinação topográfica, velocidade do vento e sua direção. Para visualizá-los no espaço e tempo definiu-se dois caso: a) simulação

sem efeito do vento, e b) simulação com o efeito do vento. Para tanto, utilizou-se os parâmetros detalhados na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros para os dois caso de estudo.

Casos de estudo	Direção do Vento (em radianos)	Velocidade do vento	Raio de propagação de incêndio	Dimensão do mapa	Vizinhança	Tempo final (m)
Caso 1 - sem efeito do vento	-	-	0	50 X 50	Moore	300
Caso 2 - com efeito do vento	Norte, ou π/2=360 graus	6.3	0	50 X 50	Moore	300

Ambos modelos levam em conta a mesma quantidade de combustível para todas as células do espaço definido na tabela acima. O espaço de simulação é representado como uma grade bidimensional de dimensão 50x50, onde cada célula corresponde a um elemento do modelo. Os modelos iniciam todas as células como “não queimadas”, exceto a célula central que é inicializada como “queimando”. O total de tempo final para as simulação é de um período de 300 minutos, ou 5 horas.

Foi utilizada a vizinhança de Moore, considerando as células vizinhas na vertical, horizontal e diagonal. É gerado um mapa que visualiza a propagação do fogo ao longo do tempo, com cores representando os estados das células: verde, vermelho e cinza, para respectivamente “não queimado”, “queimando” e “queimado”. O raio de propagação do incêndio é incrementado a cada passo de tempo.

Para o Caso 1, o incêndio começa a partir de um ponto central e se propaga a partir desse ponto com um raio inicial de 0. Cada célula do modelo executa uma função que verifica seu estado atual. Se a célula estiver "queimando", ela muda seu estado para “queimada”. Se a célula estiver “não queimada", ela calcula sua distância em relação ao ponto de origem e leva em consideração a influência do vento para determinar se deve mudar para o estado “queimando”, vista na Equação 1,

$$distance = \sqrt{dx^2 + dy^2} \qquad Eq.1$$

Onde, *dx* e *dy* recebem as coordenadas das células e do ponto de origem, respectivamente.

Para o Caso 2, também aplicou a mesma lógica de propagação do incêndio, mas neste caso, o modelo considera a direção e a velocidade do vento. A direção do vento é especificada em radianos (0 a 2π), onde 0 representa o vento vindo do norte para o sul. O efeito do vento na propagação do incêndio é calculado usando a direção e a velocidade do vento, detalhado na Equação 2,

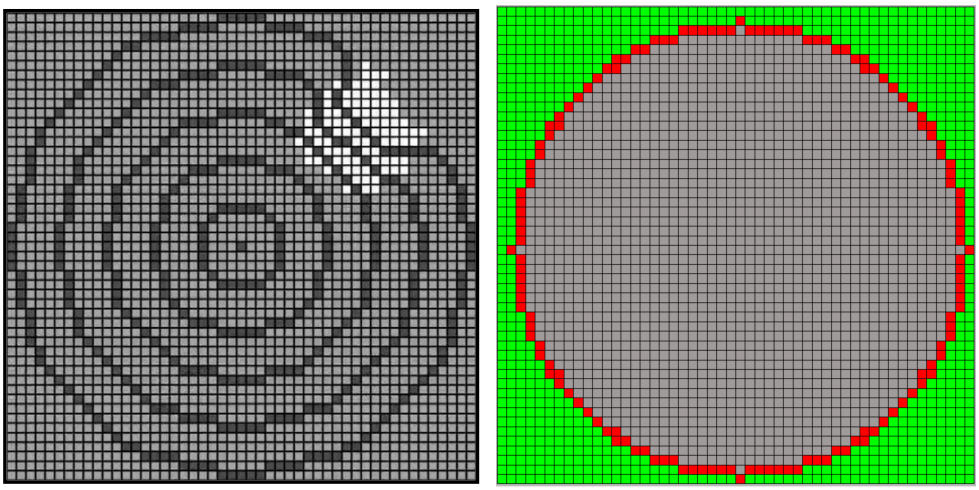
$$windEffect = \cos(windDirection - atan2(dy, dx)) \cdot windSpeed \qquad Eq.2$$

O vento influencia a taxa de propagação do fogo em diferentes direções. A velocidade do vento é definida como 6.3, tal como utilizada pelos autores a partir do trabalho de Willis (1987).

3 Resultados e Discussões

Em consonância à Berjak e Hearne (2002), na ausência de vento e em terreno plano, parcelas de frentes de fogo sucessivas produzem círculos concêntricos, a partir da origem, tal como ilustrado na Figura 1. A simulação feita pelos mostram sua expansão a cada intervalo de tempo, com umma pequena anomalia na região clara, a qual representa uma área de vegetação e taxa de umidade diferentes. Ao lado, a reprodução acompanha o formato e propagação esperada, como descrito pelos autores, com exceção da heterogeneidade de vegetação. Uma vez que esta experimentação envolve uma distribuição de umidade e vegetação igual para todas as células.

Figura 1 - Resultados das simulações para o primeiro Caso.



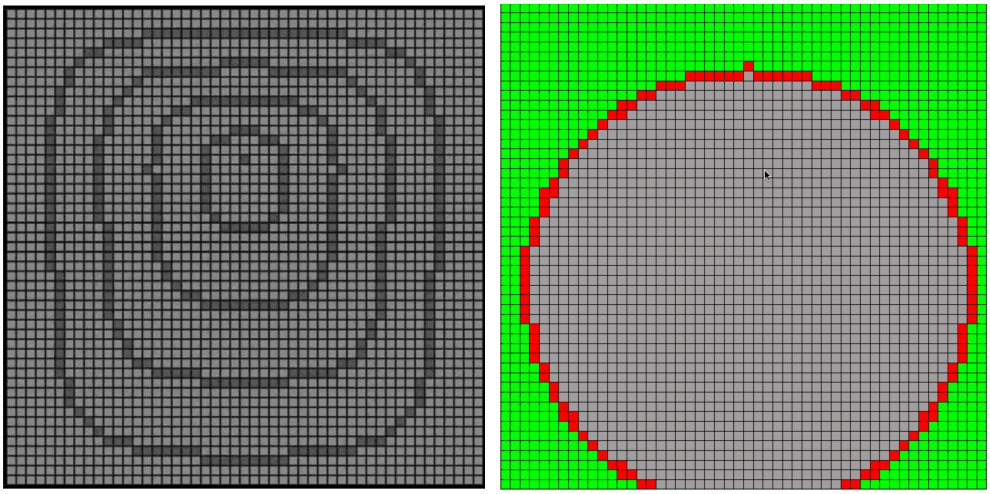
Berjak e Hearne (2002) Reprodução

Observe que na reprodução, para cada eixo *xy* há uma ocupação uniforme, originando-se do centro do mapa e até o fim do tempo de simulação, toda a área se torna “queimada”. Ao contrário do Caso 2, cuja dinâmica ocorre com o aceleramento da frente de queimada em direção ao norte, i.e., de cima para baixo no mapa, devido a influência da direção do vento e sua velocidade, tal como apresentado na Figura 2. Embora a direção oposta avance com retardo, comparado à direção oposta, ao final toda área é “queimada”.

Entretanto, no segundo caso, a reprodução da simulação pelos autores não foi ligeiramente semelhante, visto que o resultado alcançado pelos autores o espalhamento tem formato elíptico, enquanto a reprodução mantém um formato circular. Este é um dos desafios encontrados neste trabalho, além da

confusa metodologia dos modelos. Em outras palavras, explicações implícitas sobre as etapas de implementação de equações e dados de entrada.

Figura 2 - Resultados das simulações para o segundo Caso.



Berjak e Hearne (2002) Reprodução

4 Considerações Finais

Este relatório descreve a implementação de um modelo de Autômato Celular para simulação de propagação de incêndios florestais em paisagens homogêneas, com consideração de vento. O modelo representa a propagação do fogo ao longo do tempo, levando em consideração a influência do vento na taxa de propagação. Este é o primeiro passo na reprodução do estudo de Berjak e Hearne, e pode ser estendido para considerar cenários mais complexos, como topografia do terreno e outros fatores ambientais. O modelo fornece uma ferramenta valiosa para entender e visualizar a dinâmica de incêndios florestais em ambientes controlados. Dessa forma, a possibilidade de implementar em dados reais.

Para trabalhos futuros, almeja-se melhorar a dinamicidade do modelo, de modo que possa ser aplicado em dados reais e que a interação entre as células autômatos seja mais próxima ao que ocorre no “mundo real”. Outro aspecto a ser considerado é a adição de outro parâmetros, tais como temperatura, diferentes tipos de vegetação e elevação do solo, como fatores de estudo sobre espalhamento de fogo. Além disso, estudar a eficiência do modelo para contextos de florestas, savanas, e áreas urbanas. Para isso, buscar outras referências que corroboram com estes objetivos e que tenham trabalhos que contribuíram significamente para o melhoramento de técnicas, como Autômato Celular.