



15^o CONGESP

CONGRESSO DE GESTÃO PÚBLICA
DO RIO GRANDE DO NORTE

GESTÃO PÚBLICA, DESENVOLVIMENTO REGIONAL E
AS EXPERIÊNCIAS INOVADORAS DO CONSÓRCIO NORDESTE

30 nov - 03 dez | evento online



MODELO DE AUTÔMATO CELULAR: ANÁLISE DE OCUPAÇÃO COM BASE NAS REGRAS DE VIZINHANÇAS DE VON NEUMANN E MOORE

Nome do(s) autor(es) ¹ Otavio Alves de Brito Lucindo da Silva

Daniel Bonatto Seco

RESUMO

O trabalho em questão tem a ideia de apresentar os dados e análises iniciais realizados com um modelo de autômato celular (AC), desenvolvido na disciplina de Modelagem e Simulação de Fenômenos Urbanos do PPGIHD - UFRRJ, criado para que pudéssemos compreender melhor: o que é um autômato celular, quais são suas capacidades e como funcionam as simulações que podem ser realizadas no mesmo com relação às políticas públicas. Desenvolvemos um AC, utilizando as regras de vizinhança de Von Neumann e Moore, com base no algoritmo apresentado pelo professor doutor Marcelo Panaro de Moraes Zamith, que se mostrou promissor para simular dados com relação à ocupação urbana e territorial.

Palavras-chave: Humanidades Digitais; Computação em Políticas Públicas; Autômato Celular Social; Simulação de Ocupação Urbana.

INTRODUÇÃO

¹ Mestrandos em Humanidades Digitais, pelo PPGIHD da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. ot.debrito@gmail.com e danielbonattoseco@hotmail.com.

*Agradecimento ao professor doutor Marcelo Zamith por ser um excelente docente e educador.



15^o CONGESP

CONGRESSO DE GESTÃO PÚBLICA
DO RIO GRANDE DO NORTE

GESTÃO PÚBLICA, DESENVOLVIMENTO REGIONAL E
AS EXPERIÊNCIAS INOVADORAS DO CONSÓRCIO NORDESTE

30 nov - 03 dez | evento online



Realizamos na disciplina Modelagem e Simulação de Fenômenos Urbanos, ministrada pelo professor doutor Marcelo Parano de Moraes Zamith, diversas atividades com relação a simulação de fenômenos urbanos relacionados às políticas públicas, nas quais pudemos compreender como o uso de autômatos celulares para modelagem de determinados fenômenos urbanos, pode ser útil para melhor compreensão e auxiliar na previsão de certos acontecimentos e tendências relacionadas aos mesmos. Com base nos ensinamentos e trabalhos realizados, desenvolvemos um AC com a intenção de observar, ainda de forma teórica e geral, como determinados fatores das políticas públicas (educação, saúde, transporte, lazer, renda, etc.). podem influir na ocupação urbana de determinada região.

De acordo com Chunyang Hea *et al.* “*Um modelo AC é um modelo dinâmico com interações locais para refletir a evolução do sistema, onde o espaço e o tempo são considerados unidades discretas e o espaço é frequentemente representado como uma rede regular de duas dimensões (White & Engelen, 1997).*”, ou seja, um AC pode ser um código computacional, seguindo um algoritmo matemático, com representações gráficas diversas, com a intenção de demonstrar como determinado objeto de estudo (que está sendo representado) irá se comportar ao longo do tempo. Um modelo de AC pode fazer diversas coisas, como disposto por Marcia Castro e Reinaldo Castro “os autômatos celulares são ferramentas que podem representar quase todos os sistemas evolutivos que se pode imaginar.”, ideia corroborada por Kunihiko Kaneko que afirma que “*Sistemas dinâmicos espacialmente estendidos são ferramentas importantes para entender o comportamento complexo da natureza*”. Sendo assim, podemos usar um autômato celular para muitos fins, que auxiliarão no melhor entendimento do objeto de estudo e/ou na compreensão de tendências relacionadas ao mesmo. Como citado, os ACs possuem capacidades quase infinitas de representação de ambientes e comportamentos complexos, e têm demonstrado cada vez mais sua importância em diversas aplicações nas Ciências Naturais e Humanas. No trabalho de Chuyang Hea *et al.*, os pesquisadores atuam na elaboração de um AC que possa apoiar a decisão de planejamento urbano em Pequim (China), onde afirmam que “*é desenvolvido como uma ferramenta de apoio à decisão de planejamento para lidar com o dilema da expansão urbana contínua versus recursos naturais limitados e deterioração do meio ambiente em Pequim*”. Sendo assim, a relevância social do uso de ACs se demonstra quando esse tipo de ferramenta é utilizada para ações de interesse público, como no trabalho citado.



15^o CONGESP

CONGRESSO DE GESTÃO PÚBLICA
DO RIO GRANDE DO NORTE

GESTÃO PÚBLICA, DESENVOLVIMENTO REGIONAL E
AS EXPERIÊNCIAS INOVADORAS DO CONSÓRCIO NORDESTE

30 nov - 03 dez | evento online



REFERENCIAL TEÓRICO

Baseados no artigo citado de Chunyang Hea *et al.* e nos esquemas descritos por Marcia Castro e Reinaldo Castro, desenvolvemos um autômato celular teórico que visa compreender como alguns elementos das políticas públicas irão impactar na ocupação de uma determinada região, uma vez que uma sociedade apenas se estabelece em um local se houverem meios para sua subsistência.

O autômato celular em questão não foi modelado para nenhuma região específica até o momento, tendo sido desenvolvido para uma compreensão teórica inicial da funcionalidade de um AC, da sua capacidade na modelagem de fenômenos urbanos complexos e para melhor compreensão de como as regras de vizinhança de Moore e Von Neumann funcionam e impactam a dinâmica do AC, mesmo que possa, com as devidas alterações, representar algum ambiente específico, o que pretendemos fazer em breve e apresentar em um outro trabalho subsequente.

Outros dados relevantes para melhor compreensão do trabalho, são: as regras de vizinhança que foram utilizadas no AC, a metodologia para construção do mesmo, nossas considerações e resultados.

Regras de Vizinha de Von Neumann e Moore

A vizinhança de Von Neumann, segundo disposto na Wikipédia, “consiste de quatro células ortogonais ao redor de uma célula central em uma grade bidimensional.”, como pode ser visto na imagem abaixo:



15^o CONGESP

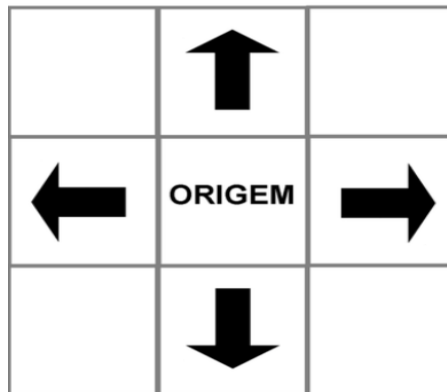
CONGRESSO DE GESTÃO PÚBLICA
DO RIO GRANDE DO NORTE

GESTÃO PÚBLICA, DESENVOLVIMENTO REGIONAL E
AS EXPERIÊNCIAS INOVADORAS DO CONSÓRCIO NORDESTE

30 nov - 03 dez | evento online



Von Neumann

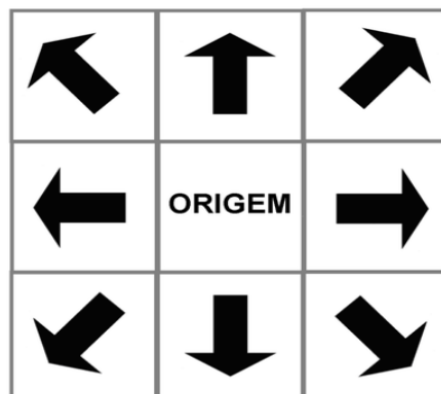


https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Em-a-as-possibilidades-de-pesquisa-pela-vizinhanca-de-Von-Neumann-VVN-e_fig1_303402138

Isso significa que em uma malha matricial, cada quadrado (célula) como disposto na imagem, irá analisar as demais células diretamente ao seu lado, não levando em consideração aqueles que estejam em sua vizinhança diagonalmente.

Já a Vizinhança de Moore, segundo disposto na Wikipédia “consiste em oito células ao redor de uma célula central em uma grade quadrada”, levando em consideração também seus vizinhos diagonalmente, como pode ser visto na imagem abaixo:

Moore





15^o CONGESP

CONGRESSO DE GESTÃO PÚBLICA
DO RIO GRANDE DO NORTE

GESTÃO PÚBLICA, DESENVOLVIMENTO REGIONAL E
AS EXPERIÊNCIAS INOVADORAS DO CONSÓRCIO NORDESTE

30 nov - 03 dez | evento online



https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Em-a-as-possibilidades-de-pesquisa-pela-vizinhanca-de-Von-Neumann-VVN-e_fig1_303402138

Sendo assim, em uma malha matricial, cada quadrado (célula) como disposto na imagem, irá levar em consideração também seus vizinhos diagonais, o que promove diferenças nos resultados dados pelo AC, quando nas mesmas condições, dependendo do tipo de vizinhança utilizada.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Foi utilizado a IDE Spyder, o Python 3.8, bibliotecas: Random, Numpy, Matplotlib, OS e Datetime, a lógica de modelagem matemática se baseou no algoritmo $P^t_{i,j} = [(\sum^8_{k=1} E^t_{i,j}) / n] \times [(\sum^m_{l=1} A_{i,j} / m) \times (rand)]$, apresentado em aula pelo professor doutor Marcelo Panaro de Moraes Zamith, onde $E^t_{i,j}$ representa o estado da vizinhança em cada parte das duas dimensões, $A_{i,j}$ está como o vetor de atributos das políticas públicas mencionadas e o *rand* é uma função de números aleatórios, O domínio da função é $(P^t_{i,j} < \epsilon)$ sendo ϵ entre 0 e 1 pertencente aos números Reais, o valor que atribuímos a ϵ define a sensibilidade da ocupação, sendo assim quanto mais próximo ϵ for de 0, mais rapidamente ocorrerá a ocupação do espaço, e quanto mais distante, mais lentamente elas acontecerão, o que significa dizer que dependerão de mais iterações para o mesmo resultado. O AC funciona atualmente com as regras de vizinhança de Moore ou Von Neumann, podendo ser escolhido pelo usuário no momento da simulação. O código do AC está no apêndice deste trabalho, assim como outros documentos considerados relevantes.

Ao iniciarmos o código do AC, precisamos inserir alguns dados que ele usará de base para o processo, são eles: tamanho da malha, taxa de ocupação inicial, número de iterações, tipo de vizinhança (Moore ou Von Neumann) e o ϵ , que designará o grau de sensibilidade para que a célula (o quadrado) mude de estado ou não, já que o ϵ está diretamente ligado ao domínio da função que denota o algoritmo.



15^o CONGESP

CONGRESSO DE GESTÃO PÚBLICA
DO RIO GRANDE DO NORTE

GESTÃO PÚBLICA, DESENVOLVIMENTO REGIONAL E
AS EXPERIÊNCIAS INOVADORAS DO CONSÓRCIO NORDESTE

30 nov - 03 dez | evento online



Realizamos quatro seções de análises, nas seções 1 e 2 (figura 1 e 2) começamos a ocupação inicial em 10%, e nas seções 3 e 4 (figura 1.1 e 2.1) começamos em 50%. Para o nosso estudo, definimos uma malha matricial de 100x100 (no AC é preciso digitar apenas 100) em todos os casos, e analisamos o comportamento do AC para os valores de ε $\{0,12\}$, $\{0,13\}$, $\{0,14\}$, $\{0,15\}$, $\{0,16\}$, $\{0,17\}$ e $\{0,18\}$, utilizando as regras de vizinhança demonstradas anteriormente.

Seguem abaixo, descrito por tópicos, os resultados em forma de gráficos, e em seguida nossas análises.

Resultados - Utilizando a Vizinhança de Von Neumann



15^o CONGESP

CONGRESSO DE GESTÃO PÚBLICA
DO RIO GRANDE DO NORTE

GESTÃO PÚBLICA, DESENVOLVIMENTO REGIONAL E
AS EXPERIÊNCIAS INOVADORAS DO CONSÓRCIO NORDESTE

30 nov - 03 dez | evento online

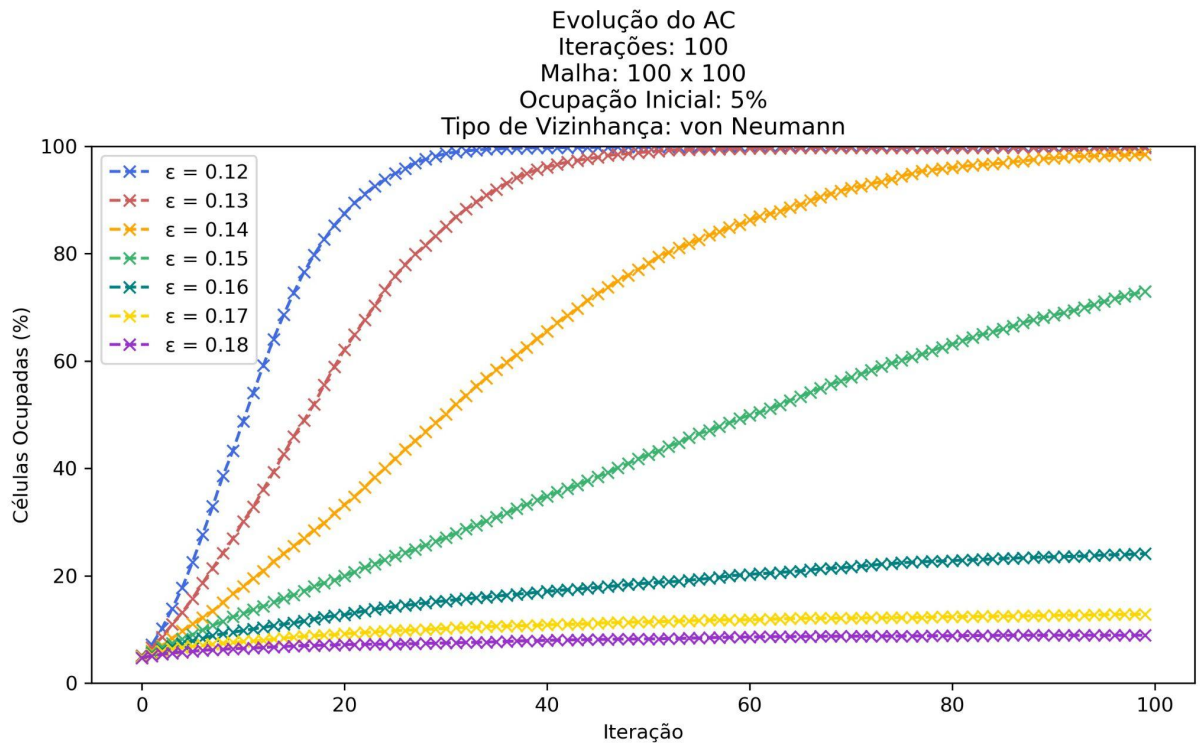


Gráfico VN

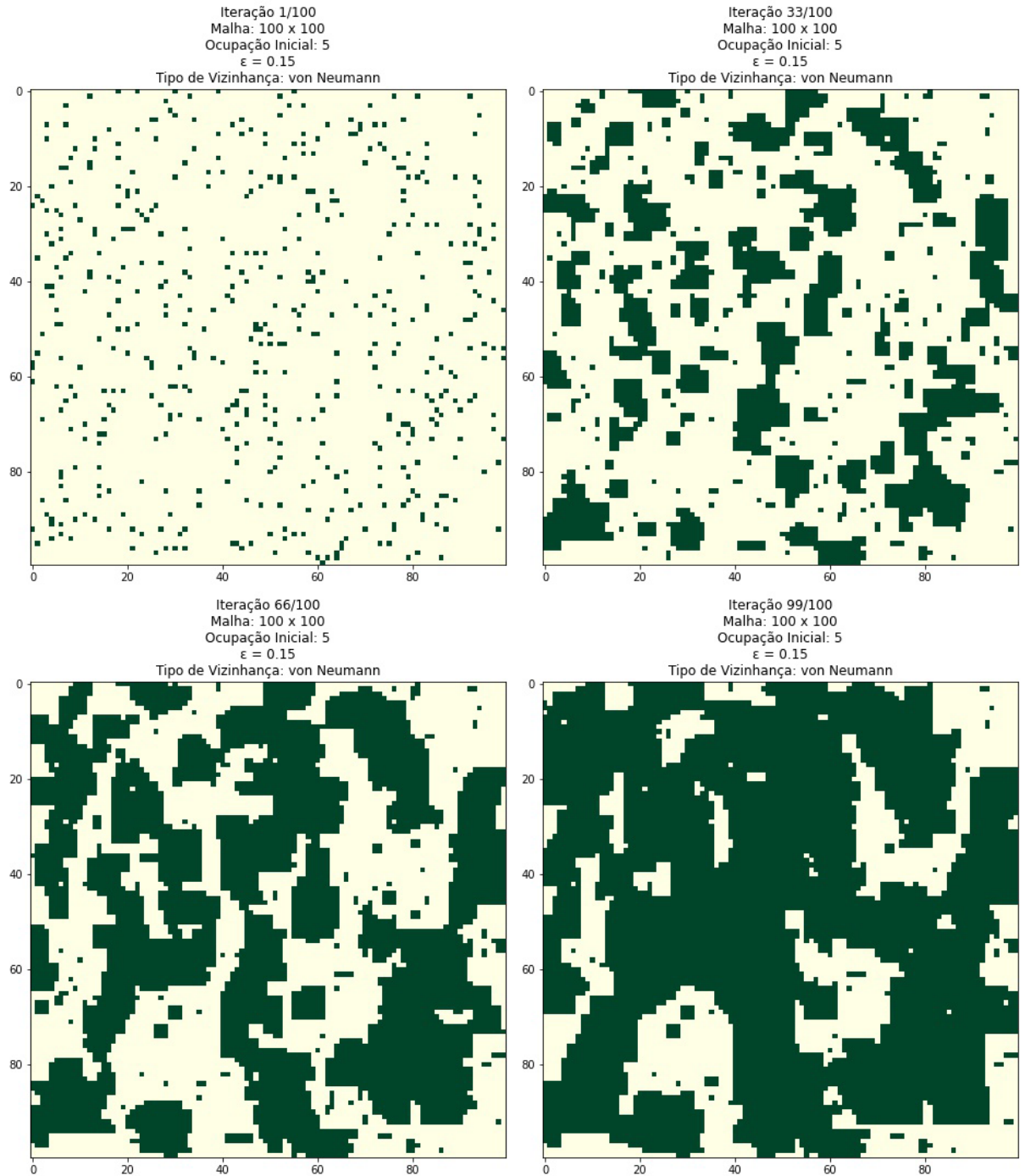


15^o CONGESP

CONGRESSO DE GESTÃO PÚBLICA
DO RIO GRANDE DO NORTE

GESTÃO PÚBLICA, DESENVOLVIMENTO REGIONAL E
AS EXPERIÊNCIAS INOVADORAS DO CONSÓRCIO NORDESTE

30 nov - 03 dez | evento online



Mapa de Calor VN

Resultados - Utilizando a Vizinhança de Moore



15^o CONGESP

CONGRESSO DE GESTÃO PÚBLICA
DO RIO GRANDE DO NORTE

GESTÃO PÚBLICA, DESENVOLVIMENTO REGIONAL E
AS EXPERIÊNCIAS INOVADORAS DO CONSÓRCIO NORDESTE

30 nov - 03 dez | evento online

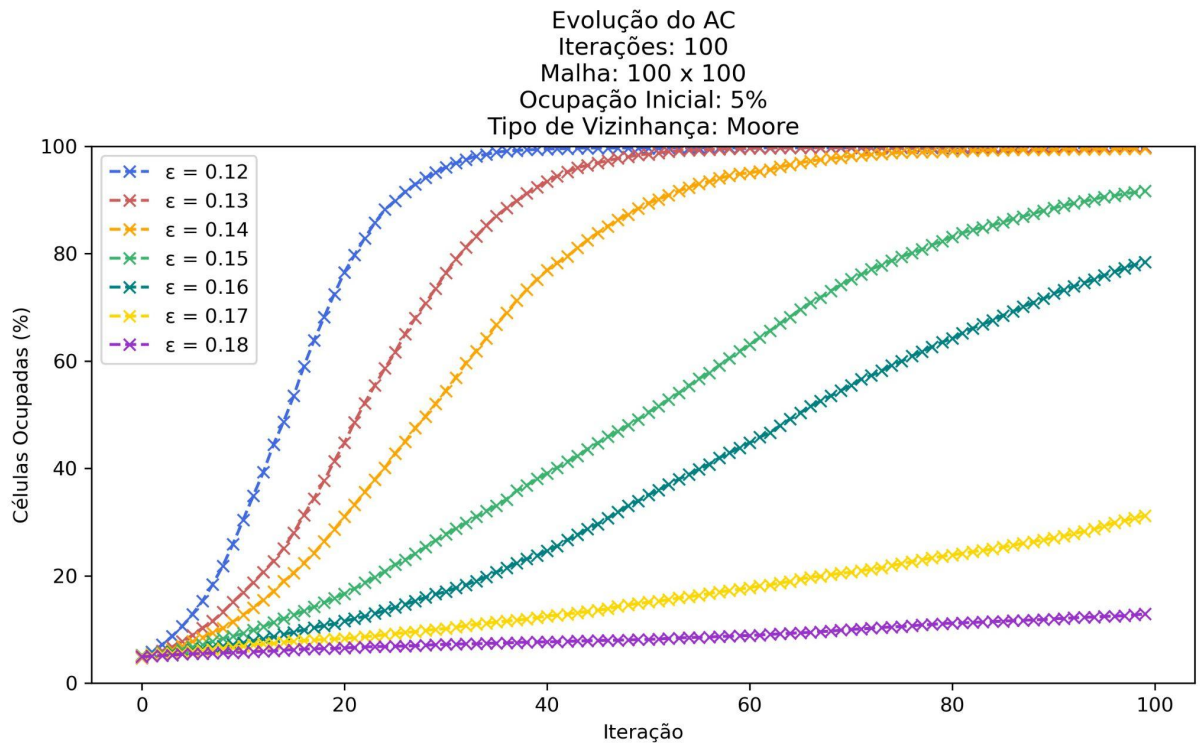


Gráfico M

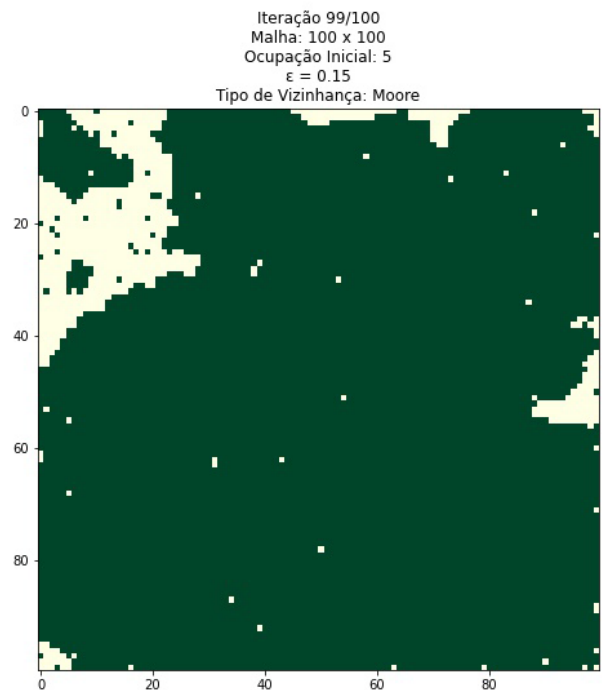
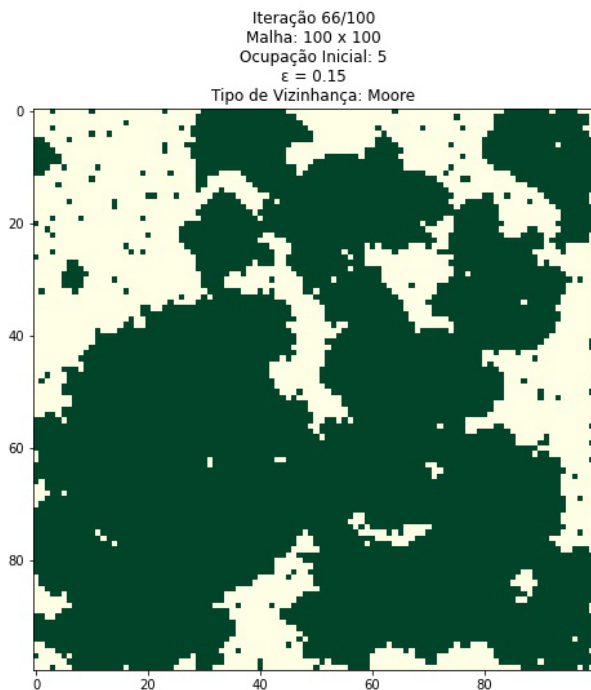
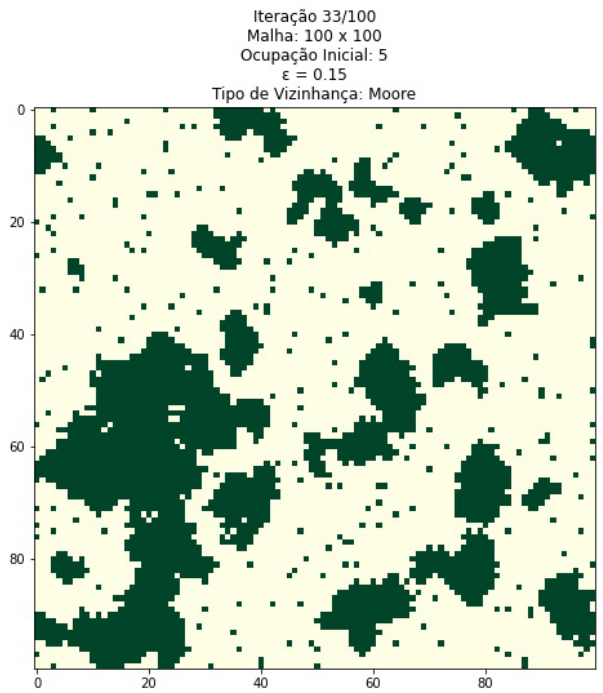
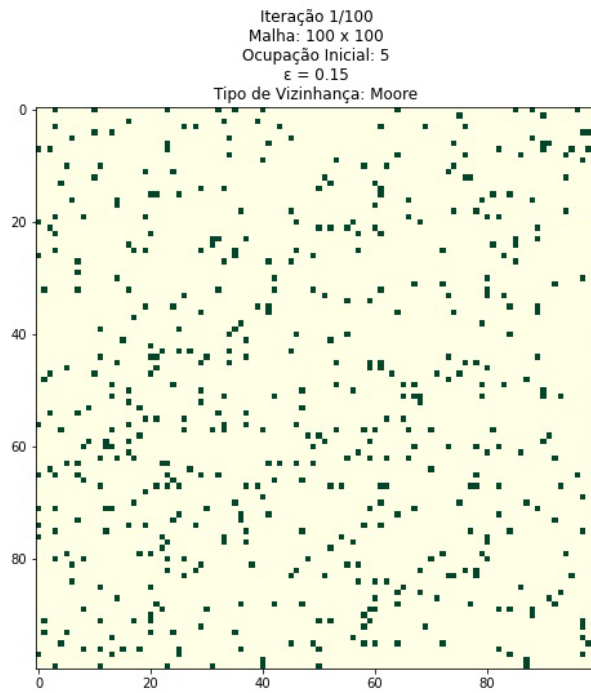


15^o CONGESP

CONGRESSO DE GESTÃO PÚBLICA
DO RIO GRANDE DO NORTE

GESTÃO PÚBLICA, DESENVOLVIMENTO REGIONAL E
AS EXPERIÊNCIAS INOVADORAS DO CONSÓRCIO NORDESTE

30 nov - 03 dez | evento online



Mapa de Calor M

CONCLUSÃO



15^o CONGESP

CONGRESSO DE GESTÃO PÚBLICA
DO RIO GRANDE DO NORTE

GESTÃO PÚBLICA, DESENVOLVIMENTO REGIONAL E
AS EXPERIÊNCIAS INOVADORAS DO CONSÓRCIO NORDESTE

30 nov - 03 dez | evento online



Dispomos de uma malha 100x100, já que essa é uma análise inicial da capacidade do autômato celular, e o nosso maior objetivo é compreender sua funcionalidade para que possamos modelar regiões específicas, e em uma malha 100x100 temos um conjunto universo de 10.000 células entre ocupadas e não ocupadas. Observando as iterações, com relação às regras de Vizinhança de Von Neumann e Moore, notamos diferenças na forma de ocupação das células dependendo da regra, quando o AC utiliza a regra de Vizinhança de Von Neumann, as ocupações são mais laterais demonstrando uma tendência vertical, como podemos observar no mapa de calor VN em comparação com o mapa de calor M, e quando utiliza a regra de Vizinhança de Moore, as ocupações são mais diagonais demonstrando uma tendência circular.

Quanto aos gráficos podemos observar que, dentro dos mesmos parâmetros, o AC ao utilizar a Vizinhança de Moore tende a mudar de estado mais rapidamente, realizando a comparação vista nos gráficos, com $\epsilon = 0,12$ e $0,13$; na Vizinhança de Von Neumann a ocupação tende ao máximo em torno da 30ª iteração quando o $\epsilon = 0,12$ e tende ao máximo de ocupações quando o $\epsilon = 0,13$ na 40ª iteração, já na Vizinhança de Moore para os mesmos valores de ϵ , os mesmos resultados são alcançados com menos iterações (antes da 30ª e 40ª iteração).

Sendo assim, observamos que a regra de vizinhança utilizada no AC é relevante para simulação e obtenção de resultados, devendo ser utilizada aquela que melhor modele o problema em questão, por exemplo: se todos os vizinhos impactam uma determinada ocupação em um plano, certamente a regra de Vizinhança de Moore será melhor para essa análise que a de Von Neumann. Com base nisso, podemos utilizar para uma modelagem específica o número de iterações como o ciclo de tempo a ser simulado, meses ou anos por exemplo, o tamanho da malha pode representar a extensão do território em questão, como em metros ou quilômetros, a taxa de



15^o CONGESP

CONGRESSO DE GESTÃO PÚBLICA
DO RIO GRANDE DO NORTE

GESTÃO PÚBLICA, DESENVOLVIMENTO REGIONAL E
AS EXPERIÊNCIAS INOVADORAS DO CONSÓRCIO NORDESTE

30 nov - 03 dez | evento online



ocupação representaria a taxa já estabelecida na região, e as outras taxas importantes que compõem o algoritmo do AC, como $(\sum_{l=1}^m A_{i,j} / m)$, ao invés de funcionarem de forma pseudo aleatória como foi em nossa análise, deverá ser ajustado para que os usuários possam adicionar os indicadores que compõem esse e os outros pontos do algoritmo, com exceção do *rand*.

Com base nisso, o autômato celular em questão se mostra promissor para o uso em simulações de ocupações urbanas, podendo ser ajustado para simular aspectos de uma região em específico e auxiliar o gestor público na tomada de decisões em políticas públicas que envolvam aspectos de ocupação urbana e territorial.

REFERÊNCIAS

Chunyang Hea, Norio Okadac, Qiaofeng Zhangd, Peijun Shia, Jingshui Zhanga, „Modeling urban expansion scenarios by coupling cellular automata model and system dynamic model in Beijing, China, *Applied Geography* 26 (2006) 323–345 <<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2006.09.006>> .

Castro, M. L. A.; Castro, R. O.; AUTÔMATOS CELULARES: IMPLEMENTAÇÕES DE VON NEUMANN, CONWAY E WOLFRAM, *Revista de Ciências Exatas e Tecnologia* Vol. III, Nº. 3, Ano 2008 <<https://doi.org/10.17921/1890-1793.2008v3n3p89-106>>.

Wolfram, S. (1986). *Cellular automaton fluids 1: Basic theory. Journal of Statistical Physics*, 45(3-4), 471–526. doi:10.1007/bf01021083

Kaneko, Kunehiko. "Attractors, basin structures and information processing in cellular automata." *Theory and Applications of Cellular Automata* 1 (1986): 367-398.



15^o CONGESP

CONGRESSO DE GESTÃO PÚBLICA
DO RIO GRANDE DO NORTE

GESTÃO PÚBLICA, DESENVOLVIMENTO REGIONAL E
AS EXPERIÊNCIAS INOVADORAS DO CONSÓRCIO NORDESTE

30 nov - 03 dez | evento online



Wikipédia, Vizinhança de Von Neumann

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Vizinhança_de_von_Neumann> Acessado em
Novembro de 2021.

Wikipédia, Vizinhança de Moore

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Vizinhança_de_Moore> Acessado em Novembro de
2021.

Wikipédia, Autômato Celular

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Autômato_celular> Acessado em Novembro de 2021.

APÊNDICE:

Seco, D. B; Silva, O. A. B. L.; 2ª SACEPI: Autômato Celular - Modelo de Simulação de Dados <<https://youtu.be/hxbx7sCNOM4>> publicado em 13 de Novembro de 2021; Apresentação: 10.5281/zenodo.5716396 .

Link do AC:

https://github.com/danielbonattoseco/msfu_ppgihd/blob/main/automato_celular_multi_simulacao.py

Otávio Brito, & Daniel Bonatto. (2021). Resultados com a Vizinhança de Moore e Von Neumann (Version 2). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5717247>

ANEXO

**TERMO DE SUBMISSÃO DE ARTIGO, DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO,
CESSÃO DE DIREITOS AUTORAIS, DE PARTICIPAÇÃO ONLINE,
DECLARAÇÃO DE ORIGINALIDADE E INEDITISMO***