

# Autômatos Celulares aplicados à Epidemiologia da Esquistossomose em Pernambuco – Uma Análise Comparativa de Processos de Coleta de Moluscos

Breno. A. F. Miranda, Cristiano G. Melo, Jones Albuquerque, Silvana Bocanegra  
Departamento de Estatística e Informática, Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Av. Dom Manoel de Medeiros, S/N - Dois Irmãos, CEP 52.171-030 - Recife/PE.  
breno@deinfo.ufrpe.br, cristiano@deinfo.ufrpe.br, joa@deinfo.ufrpe.br, silvana@deinfo.ufrpe.br

Helen Paredes, Reinaldo Souza-Santos

Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz. Departamento de Endemias Samuel Pessoa.  
Rua Leopoldo Bulhões, 1470, Térreo, Manguinhos, CEP: 21041-210, Rio de Janeiro, RJ.  
helenparedes@ensp.fiocruz.br; rrsantos@ensp.fiocruz.br

Marco Antônio A. de Souza, Constança S. Barbosa

Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães, Fundação Oswaldo Cruz. Departamento de Parasitologia. Avenida  
Moraes Rego, s/n, cx. Postal 7472, Cidade Universitária, CEP: 59670-420, Recife, PE.  
maandrades@cpqam.fiocruz.br; cbarbosa@cpqam.fiocruz.br

**Resumo:** *Este artigo apresenta uma proposta de modelagem de Autômatos Celulares para implementação de análise comparativa entre os métodos de coleta de moluscos utilizando duas técnicas: Puçá e Concha Metálica. A modelagem se fez necessária durante o levantamento malacológico realizado na praia de Carne de Vaca, município de Goiana, litoral Norte de Pernambuco, entre novembro de 2006 e outubro de 2007. O interesse particular é mostrar como um Autômato Celular pode produzir resultados que comprovem o quanto o método de coleta utilizando o Puçá pode ser mais eficiente que o método que utiliza a Concha Metálica. O modelo proposto aqui, apesar de não ter sido testado exhaustivamente produz padrões de movimentação que transcrevem o que é observado na natureza e ilustra a superioridade da técnica de captura com Puçá sobre a Concha Metálica.*

## 1 Introdução

O processo da reprodução e urbanização da esquistossomose em Pernambuco vem sendo discutido por [5] a partir dos resultados de inquéritos epidemiológicos. O presente artigo é parte de um projeto maior intitulado "Ecoepi-demiologia da Esquistossomose no Litoral de Pernambuco" do CPqAM (Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães)/FIOCRUZ

(Fundação que diagnosticou 22 casos autóctones de esquistossomose na Praia do Forte Orange, ilha de Itamaracá, todos veranistas e/ou turistas de classe média/alta que tiveram exposição acidental) [2] e 600 casos agudos na Praia de Porto de Galinhas [3].

Projetos, como este, objetivam mapear e caracterizar criadouros e focos dos vetores da esquistossomose, identificando novos sítios de transmissão ativa da parasitose e correlacionar os determinantes biológicos da doença com o contexto ambiental da sua ocorrência. É notável a carência de modelos matemático-computacionais para auxiliar a composição de cenários e o estudo do processo de expansão da doença [4]. Tais modelos podem prover os Órgãos de Saúde com dados sobre o comportamento das doenças sugerindo cenários futuros que possam otimizar o planejamento estratégico e a utilização de recursos no combate e prevenção da doença no estado de Pernambuco.

A esquistossomose possui um ciclo biológico de transmissão, no qual os moluscos do Gênero *Biomphalaria* são vetores da doença. Coleta de moluscos utilizando-se de uma concha metálica vem sendo realizada sistematicamente como única técnica de captura dos mesmos. Por outro lado, a coleta utilizando a Concha Metálica é bastante comum na Malacologia. A metodologia consiste em realizar capturas sucessivas de moluscos (p.ex. 10 conchadas) em um determinado

ponto de coleta, delimitando-se dos outros locais através da contagem do número de passadas humanas (medida de distância). As conchas metálicas apresentam 25 cm de altura, com perfurações de cerca de 0,5 cm de diâmetro nas laterais e no fundo, adaptada a uma haste de madeira com cerca de 1,20 m de comprimento, ilustrada na Figura 1.



**Figura 1.** Coleta de Moluscos: Técnica de Concha Metálica.

Recentemente foi proposta uma nova metodologia de coleta utilizando-se de uma rede de mão (Puçá) [8] motivado pela necessidade de tornar mais ágil o processo de coleta, uma vez que a cobertura é maior e é realizada em menor tempo. O Puçá é confeccionado com uma rede de nylon (50cm de largura, 40cm de altura, 30 cm de abertura e 1 m<sup>2</sup> de malha), adaptada a um cabo de madeira ou aço (150cm de comprimento). No processo de coleta é aplicado um esforço amostral individual de 30 minutos, por varredura, em cerca de 10 (dez) metros de extensão, em cada um dos habitats selecionados. Ilustrada na Figura 2.



**Figura 2.** Coleta de Moluscos: Técnica de Puçá.

O presente artigo utilizou a modelagem de automatos celulares para geração de cenários por meio de dois processos de coleta (Concha X Puçá). Espera-se que estes cenários forneçam dados suficientes para validar

uma técnica sobre a outra em situações específicas de coleta. Os parâmetros e regras de simulação utilizados aqui estão em validação e foram criados artificialmente nesta primeira implementação para unicamente validar o modelo computacional. Contudo, já se consegue observar a prevalência de uma técnica sobre a outra. O texto apresenta, nas seções a seguir, os aspectos de modelagem, parâmetros e regras de simulação, além dos resultados encontrados.

## 1.1 Modelagem usando Automatos Celulares

O termo Modelo é abstratamente definido como uma estrutura que está sendo construída para exibir e enaltecer particularidades e características de alguns objetos [10]. Geralmente algumas destas particularidades e características serão completamente capturadas no modelo dependendo do uso para o qual o modelo está sendo proposto. Assim, torna-se possível fazer previsões e análise de comportamentos futuros dos objetos modelados.

Contudo, a qualidade das respostas para as quais o modelo foi proposto depende da precisão da estrutura computacional e dos dados que alimentam o modelo. A literatura apresenta várias abstrações matemático-computacionais para auxiliar a modelagem e previsibilidade de comportamentos de objetos, entre elas podemos citar os Autômatos Celulares.

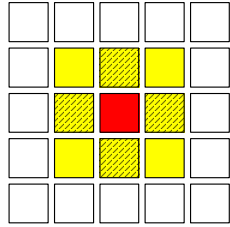
Autômatos Celulares [11] que representam sistemas dinâmicos, onde o tempo e o espaço são discretos, vêm sendo utilizados na literatura como modelos matemático-computacionais para simulação de objetos incluindo fenômenos epidemiológicos [4,7].

Autômatos Celulares são definidos como a evolução dos estados das células que o compõe. O estado de uma célula  $\sigma_i^t \in \{0,1\}$  indica que na posição  $i$  no tempo  $t$  a célula assume um dos estados definidos, neste caso 0 ou 1. Assumindo uma rede N-dimensional de células, tem-se um Autômato N-dimensional.

A evolução dos estados das células é dada por uma função, assim a regra de evolução é definida como

$$\sigma_i^{t+1} = f(\sigma_{i-k}^t, \dots, \sigma_i^t, \dots, \sigma_{i+k}^t),$$

onde  $k$  é o índice de iterações. A regra de evolução é aplicada simultaneamente em todas as células. O estado de uma célula no tempo  $t+1$  depende do estado das  $2k+1$  células no tempo  $t$ , o que constitui sua vizinhança, como ilustrado na Figura 3.



**Figura 3.** Ilustração de uma célula de Autômato Celular e sua vizinhança.

A vizinhança para qualquer célula de uma rede é formada por um conjunto de células que podem ou não afetar seu estado e que pode ser definida a partir da dimensão do autômato e a geometria de suas ligações. Os dois critérios mais frequentemente utilizados para uma rede bidimensional são a vizinhança de von Neumann, em que são consideradas como vizinhas às células que compartilhem as arestas de determinado indivíduo (no caso da rede quadrada são somados quatro vizinhos); e a vizinhança de Moore, em que são acrescentados os vizinhos que têm vértices em comum com a célula que esta sendo considerada (elevando o número de vizinhos para oito no caso da rede quadrada). Neste trabalho serão consideradas estas vizinhanças inicialmente.

Tais sistemas conseguem gerar espaços de solução os mais variados possíveis, configurando cenários de previsibilidade. Assim, é possível, com auxílio de especialistas, filtrar tais cenários para o grau de confiança desejado nas respostas do modelo. Mesmo assim, quando o conjunto de variáveis é grande, o grau de previsibilidade pode não colaborar para uma aplicação prática na qual se deseja obter planejamento estratégico a partir das respostas dos modelos. Além disso, o tempo computacional previsto para simulação de tais modelos é um aspecto restritivo quando o conjunto de cenários se torna complexo [6].

Assim sendo, este artigo objetiva complementar e analisar a eficiência computacional de Automatos Celulares para produzir resultados que prove o quanto o método de coleta utilizando o Puçá pode ser mais eficien-

te que o método que utiliza a Concha Metálica.

## 2. O Modelo

Um Autômato Celular foi utilizado para a geração de cenários utilizando as duas técnicas de coleta (Puçá X Concha). O sistema é representado espacialmente através de um reticulado de células (simulação de uma coleção hídrica com moluscos) que interagem obedecendo algumas regras de mudança de estado. A dinâmica do sistema depende desta interação local entre as células. Cada célula representa um molusco, que dependendo de sua vizinhança pode se mover para uma das oito células vizinhas (vizinhança de Moore) ou continuar parado, bem como se locomover aleatoriamente quando este não tiver nenhum caramujo em sua proximidade. Não foi considerado neste modelo, o nascimento e a morte dos moluscos, pois para este trabalho, não é necessário verificar a variação populacional dos moluscos e sim, apenas o quanto uma técnica é melhor que a outra.

Em seguida, foi simulada a passagem da concha e do puçá nas dez primeiras iterações em pontos diferentes da rede, escolhidos aleatoriamente. Depois foi reportado o resultado da coleta em cada iteração e a coleta total realizada pela concha e pelo puçá em um arquivo texto. A passagem da concha e do puçá nas dez primeiras iterações foi apenas para simplificar a modelagem, podendo esta ser a qualquer instante e em qualquer local do mapa.

## 3. Definição das variáveis

Considere  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $T_a$ ,  $T_b$ ,  $T_e$ ,  $T_d$  e  $T_v$ , como sendo o Número de moluscos coletados pelo puçá, Número de moluscos coletados pela concha, Total de vizinhos acima de um molusco, Total de vizinhos abaixo, Total de vizinhos à esquerda, Total de vizinhos à direita e o Total de vizinhos de um molusco, respectivamente. Para representar a movimentação dos caramujos no lago e a passagem da concha e do puçá, utilizamos a representação da vizinhança de Moore, ilustrada na Figura 3 e as regras de iteração aplicadas à Figura 4

com a vizinhança representada por seus coeficientes e o molusco por  $x$ .

$c_1$	$c_2$	$c_3$
$c_4$	$x$	$c_5$
$c_6$	$c_7$	$c_8$

**Figura 4.** Representação esquemática da vizinhança de Moore, onde  $x$  representa uma célula com um molusco e  $c_1$  a  $c_8$  as células para as quais o molusco pode se deslocar.

As nove regras de simulação são:

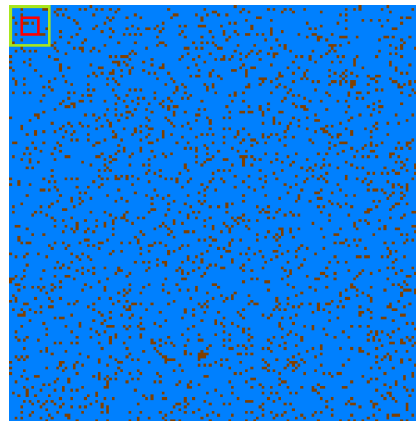
1. Se  $T_i=8$ , o molusco não se desloca;
2. Se  $T_i=0$ , o molusco terá probabilidade de 50% para se deslocar para  $c_2$  ou para  $c_7$ . Existindo moluscos nessas posições, o mesmo permanecerá parado;
3. Quando  $T_e=1$ ,  $T_d=1$ ,  $T_a=0$  e  $T_b=0$ , o molusco se deslocará para  $c_7$ . Existindo molusco nessa posição, é verificada a próxima regra;
4. Quando  $T_e=0$ ,  $T_d=0$ ,  $T_a=1$  e  $T_b=1$ , o molusco se deslocará para  $c_5$ . Existindo molusco nessa posição, é verificada a próxima regra;
5. Se as duas regras anteriores não forem satisfeitas, o molusco terá probabilidade de 50% para se deslocar para  $c_3$  ou para  $c_8$ ;
6. Quando  $T_e=1$ ,  $T_d=1$ ,  $T_a=1$  e  $T_b=1$ , o molusco se deslocará para  $c_8$ . Existindo molusco nessa posição, é verificada a próxima regra;
7. Quando  $T_v=4$ ,  $T_e=2$ ,  $T_d=2$ ,  $T_a=2$  e  $T_b=2$ , ou seja, se existir moluscos nas

células  $c_1$ ,  $c_3$ ,  $c_6$  e  $c_8$ , o molusco se deslocará para  $c_7$ ;

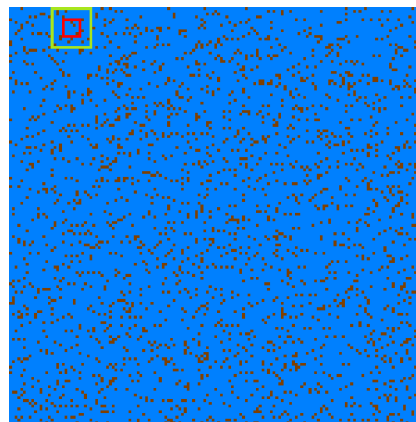
8. Se as duas regras anteriores não forem satisfeitas, o molusco poderá se deslocar para qualquer célula vizinha;
9. Quando  $T_i=1$  ou  $T_v=3$  ou  $T_v=5$  ou  $T_v=6$  ou  $T_v=7$ , o molusco poderá se deslocar para qualquer célula vizinha.

## 4. Simulações

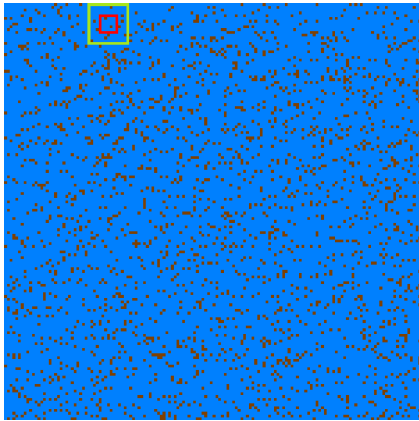
As simulações foram obtidas a partir da combinação de todas as regras anteriores em um cenário com dois mil moluscos distribuídos aleatoriamente seguindo uma distribuição normal. O esquema abaixo ilustra a simulação em quatro iterações, vide Figuras 5, 6, 7 e 8. Nas figuras, o quadrado maior e menor representam a área de varredura do puçá e da concha, respectivamente.



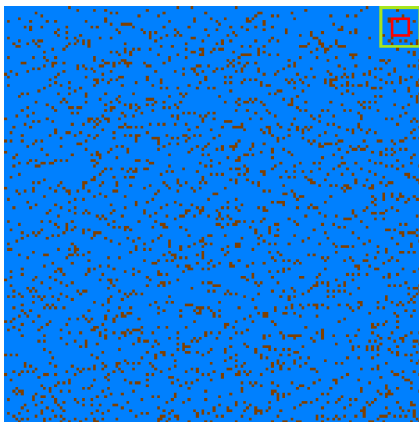
**Figura 5.** Primeira Iteração:  $N_1=19$  e  $N_2=3$ .



**Figura 6.** Segunda Iteração:  $N_1=17$  e  $N_2=3$ .

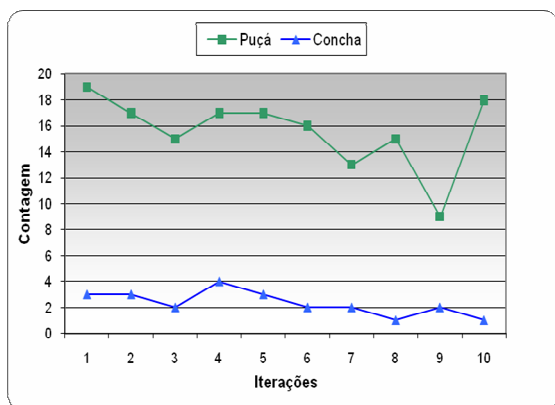


**Figura 7.** Terceira Iteração:  $N_1=15$  e  $N_2=2$ .



**Figura 8.** Décima Iteração:  $N_1=18$  e  $N_2=1$ .

O total de moluscos coletados pela concha foi 23, enquanto que o total coletado pelo puçá foi 156 moluscos em dez contagens. O gráfico da Figura 9 ilustra a quantidade de moluscos coletada pelas duas metodologias.



**Figura 9.** Comparativo entre Moluscos coletados pelo método do Puçá X Concha em dez iterações

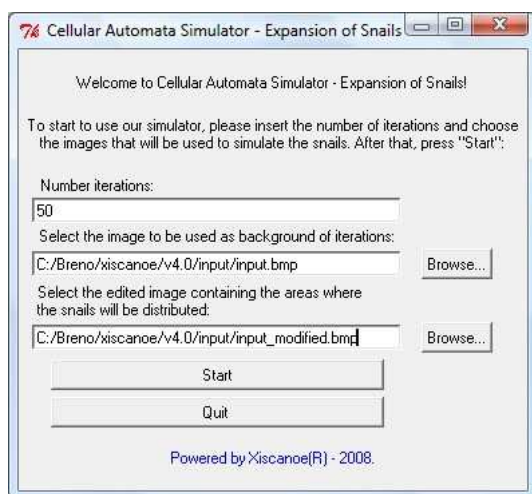
## 5. Comentários finais

Um dos principais objetivos da Epidemiologia Matemática é obter, através de modelos matemáticos propostos, informações sobre como a doença se propaga numa população, visando, essencialmente, determinar ações para prevenir e/ou conter tal propagação [1,12].

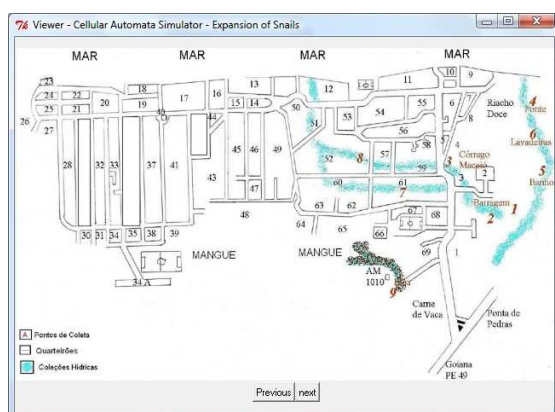
Apesar da simplicidade da coleta utilizando-se o Puçá, a coleta de moluscos com a Concha Metálica ainda é largamente utilizada na coleta dos moluscos vetores da esquistossomose, endemia elegida para estudo de caso deste trabalho. Verifica-se, com as simulações, que para qualquer disposição do mapa, como mostrado nos cenários do esquema composto pelas Figuras 5, 6, 7 e 8, a coleta com o puçá é mais eficiente que a coleta com a concha. Isso evidencia o sentimento visual da representação das áreas de varredura de cada método e a forma que os moluscos são coletados com a concha, sendo utilizada uma coleta mais pontual. O gráfico da Figura 9 ilustra a diferença de desempenho das duas metodologias a cada interação para esta simulação, mesmo considerando parâmetros não reais. Nestas suposições os dados foram subestimados justamente para não favorecer o Puçá.

Para eliminar completamente a hipótese de que os dados fictícios são tendenciosos, estar-se simulando com os dados reais, obtidos em cenários reais, nos recursos hídricos de Carne de Vaca – Goiana – PE. O levantamento malacológico completo da região pode ser encontrado em [9]. As Figuras 10 e 11 mostram a ferramenta, desenvolvida em Python e que pode ser obtida por meio eletrônico no endereço [www.xiscanoe.org](http://www.xiscanoe.org), sendo simulada em Carne de Vaca, cujos resultados podem ser visualizados.





**Figura 10.** Tela de Configuração do Cellular Automata Simulator para Esquistossomose.



**Figura 11.** Simulação nos Recursos Hídricos de Carne de Vaca – Go – PE.

Pode-se observar que a partir dos resultados obtidos no modelo proposto neste trabalho, é possível concluir que modelagens baseadas em Autômatos Celulares são capazes de verificar e aperfeiçoar outras técnicas usadas em epidemiologia. Além de modelos endêmicos, este estudo tem como objetivo também obter informações relevantes que possam auxiliar no estudo de modelos epidêmicos e acelerar o processo de análise e compreensão de epidemias em geral.

## Agradecimentos

Este trabalho é parcialmente financiado pelo CNPq, Projeto Edital MCT/CNPq 02/2006 - Universal no. 477703/2006-2. Site do projeto: [www.xiscanoe.org](http://www.xiscanoe.org).

## Referências

- [1] Alves, D.; Gagliardi, H. F. Técnicas de Modelagem de Processos Epidêmicos e Evolucionários. Universidade Católica de Santos, p. 20-21, 2006.
- [2] Barbosa, Constança S.; Pieri, Otávio S.; da Silva, Carlos B. e Barbosa, Frederico S. Ecoepidemiologia da esquistossomose urbana na ilha de Itamaracá, Estado de Pernambuco. Ver. Saúde Pública 2000; 34(4):337-41.
- [3] Barbosa, Constança S. et al. Epidemia de esquistossomose aguda na praia de Porto de Galinhas, Pernambuco, Brasil. Cad. De Saúde Pública, Rio de Janeiro. 17(3):725-728.
- [4] Fu, Shih Ching. Modelling Epidemic Spread using cellular automata. Department of Computer Science and Software Engineering. Master Thesis. The University of Western Australia, 2002.
- [5] Morgan, J. A. T.; Randall, J. D. J.; Barbosa, C. C. G. S.; Loker, E. Originand identification of human parasite schistosoma mansoni. Molecular Ecology, USA, v. 14, p. 3889-3900, 2005.
- [6] de Oliveira, Wilson Rosa; Souto, Marcílio Carlos Pereira de; Ludermir, Teresa Bernarda. Turing's analysis of computation and artificial neural networks. Journal Of Intelligent And Fuzzy Systems, Estados Unidos, p. 63-91, 2003.
- [7] Rousseau, G. and Giorgini, B. and Livi, R. and Chate, H. Dynamical phases in a cellular automaton model for epidemic propagation. Physica D, 103:554-563, 1997.
- [8] Souza, Marco Antônio A. Levantamento Malacológico, Aspectos Ecológicos e Mapeamentos das Áreas de Risco para Transmissão da Esquistossomose Mansoni no Município de Mariana, Minas Gerais. Tese de Doutorado. ICB – UFMG. 2006.
- [9] Souza, Marco Antonio A.; Barbosa, V. S.; Albuquerque, J. O.; Bocanegra, S.; Souza-Santos, R. S.; Souza, H. P.; Barbosa, C. S.

Aspectos ecológicos e levantamento malacológico para identificação de áreas de risco para transmissão da esquistossomose mansoni no litoral Norte de Pernambuco – SUBMETIDO. Iheringia. Série Zoologia, 2008.

[10] Williams, H. P. Model building in mathematical programming. John Wiley & Sons, 1997.

[11] Wolfram, S. A new kind of science. Published by Wolfram Media, 2002.

[12] Yang, H.M.; Epidemiologia Matemática: estudo dos efeitos da vacinação em doenças de transmissão direta. Editora da Unicamp, 2001.