

# Epidemiologia: Compreensão da Dinâmica das Doenças e Emergência através da Modelagem

Bianca Parulla Marques<sup>1</sup>, Douglas Furtado Félix<sup>1</sup>,  
Diana Francisca Adamatti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós Graduação em Modelagem Computacional (PPGMC)  
Universidade Federal do Rio Grande (FURG)  
Caixa Postal 474 – 96.203.900 – Rio Grande – RS – Brasil

{biancaparullam, douglasfurtadof, dianaada}@gmail.com

**Abstract.** *Epidemiology studies the spread of infectious diseases among individuals of the same species, and the reasons for the occurrence of this fact and how to contain its spread. This study describes how the spread of an epidemic works in a closed population, using multiagent simulation and how to solve the problem, using a prototype built on a preexisting model. To this end, the results showed the importance of vaccination to prevent the spread of the disease, which in turn leads to fewer health problems for society and, as a consequence, fewer expenses for the economy.*

**Resumo.** *A epidemiologia estuda a disseminação de doenças infecciosas entre indivíduos de mesma espécie, e as razões para o acontecimento deste fato e como conter a sua propagação. Neste estudo é descrito como funciona a disseminação de uma epidemia em uma população fechada, utilizando simulação multiagente e como se pode ajudar a solucionar o problema, tendo como aporte um protótipo construído com base em um modelo pré-existente. Com este intuito, os resultados obtidos revelaram a importância da vacinação para evitar a disseminação da doença, que por sua vez gera menos problemas de saúde à sociedade e como consequência menos gastos para a economia.*

## 1. Introdução

A epidemia indicia um impacto calamitoso para a sociedade, e pode ser melhor entendida se for analisada conforme o alcance de propagação de uma doença [Cruz 2013].

Neste âmbito de doenças infecciosas que se disseminam rapidamente, a Modelagem Matemática tornou-se útil para compreender a propagação, e assim obter um controle e avaliação sobre a epidemia [De Barros 2015].

Os sistemas multiagentes são utilizados para criar arquiteturas de agentes que são entidades computacionais inteligentes e autônomas, que interagem entre si para solucionar um problema que não pode ser resolvido individualmente, como no caso da epidemia [Wooldridge 1995].

Neste trabalho será apresentado a extensão de um modelo pré-existente na ferramenta NetLogo, para a simulação de uma epidemia baseada no modelo de Kermack e McKendrick, que representa a prática sistêmica de um fenômeno, que dá início no momento em que uma pessoa infectada é introduzida em um ambiente predisposto, onde

a população é fechada, ou seja, não haverá nascimentos, mortes ou viagens para dentro ou fora do grupo. A atividade ocorre de modo que os indivíduos andam pelo espaço de forma aleatória, e quando entram em contato com um indivíduo infectado, este contrairá a doença. Como um outro passo, os infectados terão a possibilidade de se reabilitar, e uma vez curado, o indivíduo se faz imune ao vírus.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é fazer algumas alterações no modelo para ver como o modelo se comporta perante personalizações definidas pelo usuário, tais como:

- Definir inicialmente o número de infectados;
- Definir a velocidade em que os agentes vão se movimentar no ambiente;

Além de inserir no ambiente um agente "vaccinated", no qual se torna de grande importância para o trabalho onde este incentiva de alguma forma a população para a vacinação e acabar por não contrair a doença, e extinguir as epidemias.

Este artigo está estruturado em cinco seções. A primeira seção apresenta uma introdução do trabalho, na segunda seção contém o referencial teórico para conceituar a epidemiologia, epidemia, o modelo matemático, sistemas multiagente e o ambiente de simulação NetLogo. A terceira seção retrata sobre o modelo de simulação utilizado para este trabalho, que tem por continuação na quarta seção onde são apresentadas as alterações da simulação, e por fim, a última seção aborda as conclusões e considerações finais deste trabalho.

## 2. Referencial teórico

Nesta seção são apresentados os temas necessários para entendimento do trabalho proposto.

### 2.1. Epidemiologia

A epidemiologia estuda a disseminação de uma doença infecciosa entre indivíduos de mesma espécie, e também as razões para o surgimento do fenômeno e como conter a propagação. A epidemiologia pode ser classificada de três formas: endemia, epidemia e pandemia, sendo classificadas de acordo com o alcance da doença. Denomina-se endemia quando a população é atingida de acordo com as condições ambientais e não passa de uma área restrita, já é chamada de epidemia se atinge além dos limites de uma determinada área, e pandemia é classificado quando a doença se espalha pelo mundo, alcançando até mesmo outros continentes [Cruz 2013].

### 2.2. Epidemia

Segundo Forattini [Forattini 2005], a definição para epidemia é "*o nome dado ao estado de incidência ou agravo à saúde além do normalmente esperado dentro da faixa de variação da prevalência da doença, em determinada área ou grupo populacional*".

No âmbito da epidemiologia de doenças infecciosas, tornou-se útil a Modelagem Matemática para o entendimento da propagação, controle e avaliação da epidemia. A epidemiologia matemática é de caráter interdisciplinar, abrangendo a área da matemática, biologia, física entre outras [De Barros 2015].

### 2.3. Modelo Matemático SIR

O modelo SIR (Suscetível Infectado Recuperado) foi proposto por Kermack e McKendrick em 1927, e é constituído pelo processo de dividir a população em três classes, a classe suscetível que são os indivíduos que ainda não foram contaminados pela doença, a classe dos infectados pela doença e a classe dos recuperados que são os indivíduos curados ou que vieram a morrer com o contágio [De Barros 2015].

Este modelo simula uma população constante, ou seja, não há nascimentos e migrações, obtém-se então:

$$N = S + I + R = cte$$

onde:

N = total da população;

S = número de indivíduos suscetíveis;

I = número de indivíduos infectados;

R = número de indivíduos recuperados;

cte = constante.

Este modelo matemático também fundamenta-se em duas hipóteses complementares:

- A razão de variação da população suscetível é proporcional ao número de encontros entre a população suscetível e a infectada;
- A razão de variação da população recuperada é proporcional à população infectada.

No modelo SIR é possível incorporar ações de controle como a vacinação ou isolamento, entre outras.

### 2.4. Vacinação

Segundo Nepomuceno [Nepomuceno 2005], de modo geral, as doenças infecciosas podem ser controladas por vacinação e por isolamento dos indivíduos infectados.

Neste trabalho foi abordada a importância da vacinação para a não disseminação de um vírus contagioso. Este tipo de precaução é eficaz, conferindo proteção em alguns casos para toda a vida, ou por um determinado período de tempo [Duarte 2016]. Como apresentado anteriormente, este estudo envolve um modelo matemático onde o indivíduo uma vez vacinado, não será contaminado pelo vírus novamente, diminuindo assim a quantidade de indivíduos infectados.

### 2.5. Simulação Baseada em Multiagente - MABS

Segundo Rebonatto [Rebonatto 2000] a simulação computacional é aplicada como elemento auxiliar na tomada de decisões, principalmente no planejamento a médio e longo prazos e em situações que envolvem custos e riscos elevados. Os modelos de decisão permitem o exame de detalhes em grande precisão.

Um Sistema Multiagente (SMA) é definido como um sistema baseado em um número de entidades autônomas que interagem em um ambiente, onde cooperam entre si para solucionar um problema que não pode ser resolvido individualmente [Wooldridge 1995].

A Simulação Baseada em Multiagente (MABS), surgiu com a união das tecnologias de Simulação e Sistemas Multiagente. Muitas aplicações em SMAs são desenvolvidas para simular alguma situação da realidade. Para tanto, o fenômeno real é decomposto em um conjunto de elementos e em suas interações. Cada elemento é modelado como um agente e o modelo geral é o resultado das interações entre estes agentes [Adamatti 2011].

## 2.6. Ferramenta Netlogo

O Netlogo<sup>1</sup> é um *software* gratuito para modelagem de ambientes multiagente. Os programadores podem instruir os agentes, todos operando de forma independente. É um *software* simples, e permite fácil manuseio e execução, possui uma extensa documentação e tutoriais, e um amplo conjunto de modelos para simulações pré-escritas que podem ser utilizadas e modificadas. Estas simulações abordam conteúdos de áreas das ciências naturais e sociais [de Lima et al. 2009]. São algumas das funcionalidades do NetLogo:

- Estrutura de linguagem simples;
- Agentes móveis (*turtles*) caminham sobre uma grade de agentes estacionários (*patches*);
- Criação de links entre *turtles* para construir agregados, redes e grafos de agentes;
- Visualização 2D e 3D do modelo;
- Monitores que permitem inspecionar e controlar os agentes.

## 3. Modelo Utilizado: EpiDEM Basic

Este método representa a irradiação de uma doença infecciosa dentre uma população fechada. Tal protótipo é construído com base em um modelo matemático, denominado SIR, desenvolvido por Kermack e McKendrick, que descreve a prática sistêmica de um fenômeno que inicia-se no momento em que uma pessoa infectada é introduzida em um grupo populacional totalmente predisposto, como já especificado na seção 2.3. Ele tem por principal característica a atribuição de uma população fechada, ou seja, não haverá nascimentos, mortes ou viagens para dentro ou fora da população. Também pressupõe que há mistura única, na qual cada pessoa, no mundo, terá a mesma possibilidade de interagir com qualquer outro indivíduo da população. Já em relação a termos virais, o paradigma supõe que não existem períodos ocultos ou inativos.

Seu funcionamento acontece de maneira em que, os indivíduos andam pelo espaço denominado de forma aleatória. Ao entrar na área de contato de uma pessoa infectada, em qualquer um dos oito vizinhos, ou também no mesmo local, o indivíduo não infectado terá maior probabilidade de contrair a doença. Outra característica é o usuário ter a liberdade de definir o número de pessoas no seu universo, bem como as chances de contrair a doença.

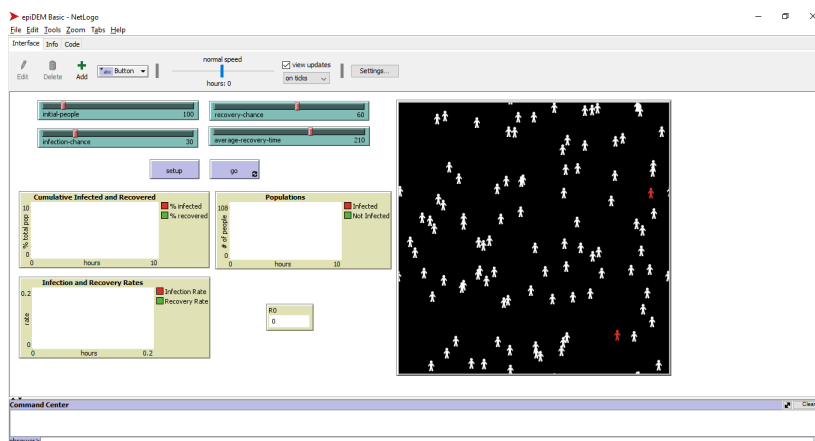
O próximo passo é a pessoa infectada ter a possibilidade de se recuperar. Isso acontece depois da mesma cumprir o tempo de reabilitação, que pode ser estipulado o pelo

<sup>1</sup><https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

usuário. O tempo de recuperação de cada indivíduo é definido através de uma distribuição aproximadamente normal em relação à média do tempo de recuperação já definido. Uma vez recuperado, o indivíduo é permanentemente imune ao vírus.

Em relação às cores dos indivíduos, estas relacionam-se com o estado de saúde, e são divididas em três: para os indivíduos não infectados é usada a cor branca, indivíduos infectados caracterizam-se pela cor vermelha, já os indivíduos verdes serão os recuperados.

Na figura 1, pode-se observar na tela inicial, à direita do processo de simulação do Epidem Basic, no qual foi iniciado com o botão denominado de “setup”. Também v a configuração inicial dos “sliders”, já pré-definidos pelo sistema e podendo ser alterados pelo usuário. Logo após, estão os botões, “setup”, utilizados para montar a simulação, ou seja, executar um procedimento, que, por sua vez, é uma sequência de comandos, e o “go”, para iniciar o processo, usado para que os comandos funcionem repetidamente até o fim da simulação. Percebe-se, ainda, três gráficos, o “Cumulative Infected and Recovered”, que representa a porcentagem total de indivíduos infectados e recuperados ao longo da difusão da doença, o “Infection and Recovery Rates” mostra graficamente as taxas estimadas em que a doença está se espalhando e o “Populations”, que demonstra o número de pessoas infectadas, ou não, durante todo processo.

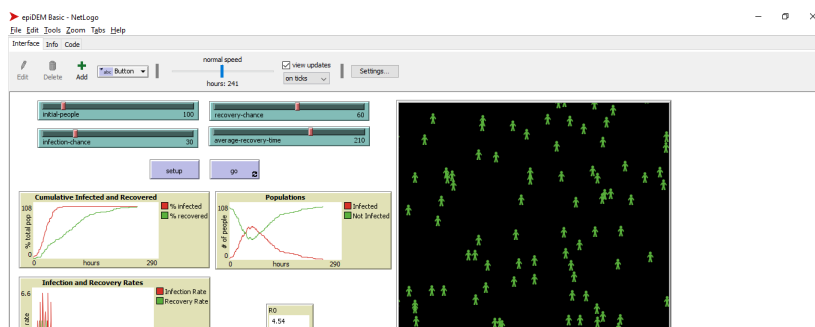


**Figura 1. Tela inicial aplicação Epidem Basic**

Já na figura 2, é possível perceber o fim da simulação e seus resultados. Na tela à direita, observa-se que todos os indivíduos que estão na cor verde foram curados, concluindo-se que todos os indivíduos foram, antes disso, contaminados. Os gráficos plotados demonstram que o número de infectados e o de recuperados ficaram iguais, também percebe-se que o crescimento da população infectada é inversamente proporcional ao crescimento da população curada.

#### **4. Simulação do ePiDEM Basic com alterações**

Nesta seção aborda-se as alterações feitas no programa e suas funcionalidades. Preliminarmente, foi adicionado um “slider” para que o usuário escolhesse o número inicial de infectados, por este motivo não utilizou-se o número inicial calculado através de uma porcentagem, característica do Epidem Basic original. Nesta situação, quanto maior a quantidade inicial, menor é o tempo para infecção dos outros indivíduos.



**Figura 2. Tela final da aplicação Epidem Basic**

Já na etapa posterior, foram adicionados três outros “sliders”, que serão utilizados para diminuir ou aumentar a velocidade dos diferentes agentes, que podem ser manipulados com diferentes configurações. Um exemplo que pode ser descrito, é quando um indivíduo está infectado (vermelho), se torna mais lento que os demais, assim diminuindo a sua propagação e, por sua vez, aumentando o tempo de proliferação do vírus. Contudo, outras configurações podem ser utilizadas, dependendo da simulação a ser realizada.

Outra característica para a personalização foi adicionar um agente denominado “vaccinated”. Esse indivíduo é de fundamental importância para esta etapa do trabalho, pois mostra funcionalidade das vacinas para a população, conscientizando-a a partir disso a não ficar infectado, bem como a estimular outros ao seu redor a se vacinar. Isto acontece através da proximidade dos “vaccinated”, com os demais sujeitos não infectados ao seu redor. Desse modo, gera-se um multiplicador para novos “vaccinated”.

Por fim, foi adicionado o agente “vaccinated” ao gráfico Populations. Essa nova variável foi acrescentada ao gráfico para que possamos acompanhar e analisar a evolução dos processos.

A figura 3, representa o início da simulação já alterada, e suas novas características, as quais são totalmente personalizáveis, originando inúmeras possibilidades de configurações.

A figura 4, ilustra as alterações e suas aplicações já executadas e finalizadas, essenciais para os estudos.

## 5. Conclusões

A simulação multiagente permite a facilidade de encontrar a solução para um problema real, podendo assim colocar em prática no ambiente externo, e de alguma forma ajudar em diversas áreas de estudo.

Neste trabalho propõe-se acrescentar algumas funcionalidades em um modelo pré-existente, com o intuito de perceber a capacidade de propagação de uma epidemia. Com este objetivo, ratifica-se perceber a importância da vacinação para evitar esta disseminação, gerando menos problemas de saúde à sociedade e por consequência menos gastos para a economia.

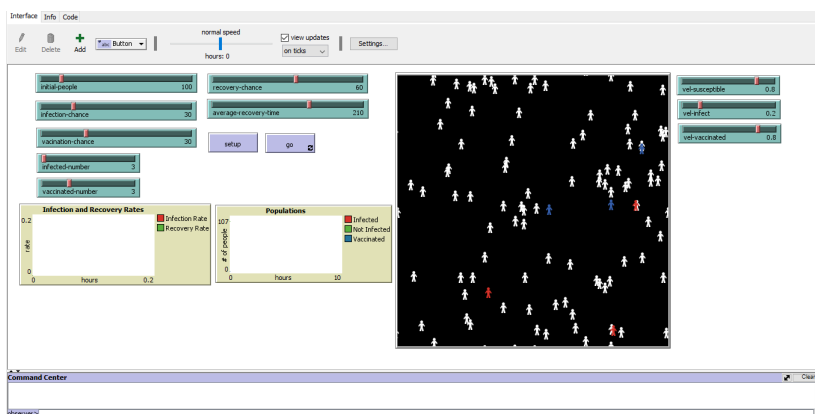


Figura 3. Tela inicial da aplicação Epidem Basic já alterada

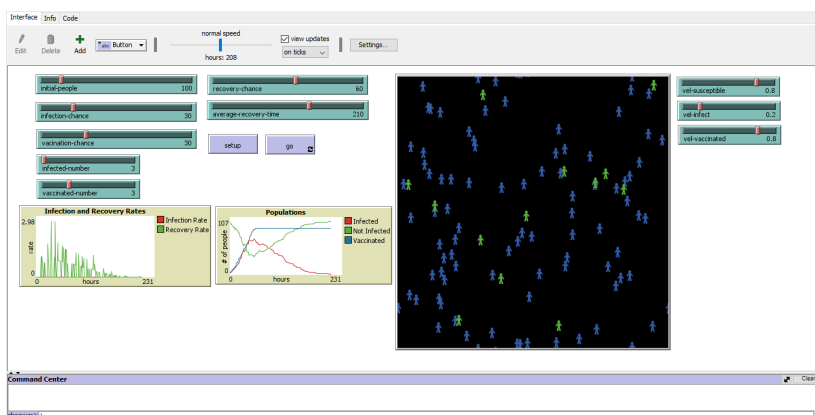


Figura 4. Tela final da aplicação Epidem Basic alterada

1

Estudos ainda devem ser realizados para que o conhecimento possa ser, ainda mais aprofundado, mas já é possível perceber que a simulação multiagente é de grande relevância e importância para ajudar a resolver problemas de diversas áreas de estudos.

Como trabalhos futuros, pode-se realizar um estudo envolvendo o problema matemático SIRS (Suscetível, Infectado, Recuperado, Suscetível) onde simula a disseminação de uma doença contagiosa em que o vírus sofre mutação, podendo assim perder a validade da vacina, e deixar o sujeito vulnerável novamente à doença, conforme ilustra a figura 5.

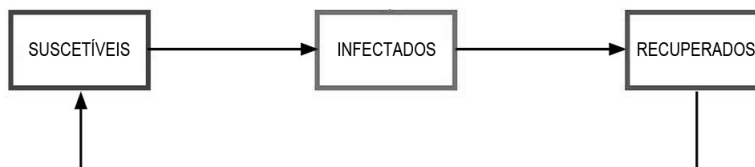


Figura 5. Modelo Matemático SIRS

## Agradecimentos

Agradecemos a Universidade Federal do Rio Grande (FURG), ao Programa de Pós Graduação em Modelagem Computacional (PPGMC) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES) pelo espaço e apoio cedidos.

## Referências

- Adamatti, D. F. (2011). Simulação baseada em multiagentes como ferramenta em estudos interdisciplinares.
- Cruz, V. S. (2013). Análise computacional da disseminação de epidemias considerando a diluição e a mobilidade dos agentes.
- De Barros, A. M. R. (2015). Modelos matemáticos de equações diferenciais ordinárias aplicados à epidemiologia. *Revista de Ciências Exatas e Tecnologia*, 2(2):62–67.
- de Lima, T. F. M., Faria, S. D., Soares Filho, B. S., and de Senna Carneiro, T. G. (2009). Modelagem de sistemas baseada em agentes: Alguns conceitos e ferramentas. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil*, pages 25–30.
- Duarte, C. I. S. (2016). *Vacinas e plantas, relação em larga escala*. PhD thesis.
- Forattini, O. P. (2005). *Conceitos Básicos de Epidemiologia Molecular Vol. 64*. EdUSP.
- Nepomuceno, E. G. (2005). Dinâmica, modelagem e controle de epidemias. *UFMG. Tese de Doutorado*. <http://www.cpdee.ufmg.br/defesas D>, 534.
- Rebonatto, M. T. (2000). Simulação paralela de eventos discretos com uso de memória compartilhada distribuída.
- Wooldridge, Michael, J. N. R. (1995). Intelligent agents: Theory and practice. *The knowledge engineering review*, 10(2):115–152.