

Simulation and Analysis of Malaria Using Multiagent Systems

Laurence N. da S. Costa, Diana Francisca Adamatti

Abstract—Malaria is a disease that affects hundreds of millions of people globally and causes about 1.2 million deaths every year. Just in Brazil, there is about three hundred thousand cases of malaria per year. It's a very serious problem of public health in the countries which the disease is endemic. This paper proposes the creation of a computational model of malaria, based on Multiagent Systems (MAS), which covers aspects such as infection, mortality, length of incubation and prevention. The choice to use MAS and Netlogo allowed the creation of a system which has simpler implementation, but highly configurable and, with the public health experts help and successive refinements, it can deliver results more and more reliable.

Index Terms—Malaria, Multiagent Systems, Simulation, Net-Logo

I. INTRODUÇÃO

A malária é uma das doenças mais letais do mundo e causa grandes prejuízos econômicos e sociais nas regiões de risco [1]. No Brasil, a grande maioria dos casos concentra-se na região Norte, mais precisamente na região da Amazônia Legal, a qual engloba nove estados brasileiros: Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins. A malária é uma doença causada por protozoários do gênero plasmódio, transmitidos por um mosquito do gênero anofelino [2][3][4]. Quando a fêmea do mosquito pica uma pessoa a fim de obter sangue, inocula uma saliva anticoagulante. É através dessa saliva que os protozoários invadem o corpo do hospedeiro humano. Não existe vacina, sendo a prevenção a melhor maneira de combater a doença.

Do ponto de vista computacional, um agente é uma entidade dotada de capacidade de autonomia, podendo tomar decisões e escolher a melhor maneira de atingir seus objetivos. Os agentes são capazes de analisar uma situação, gerar alternativas e escolher a que melhor atenda seus objetivos, e serem capazes de interagir com outros agentes computacionais para obtenção de suas metas [5].

Sistemas Multiagentes (SMA) são compostos por agentes que, inseridos em um ambiente, interagem uns com os outros, a fim de satisfazer um objetivo ou conjunto de objetivos. Os agentes inseridos nesse ambiente possuem características distintas de capacidade e percepção do ambiente. Em um SMA, os agentes podem trabalhar em conjunto para atingir objetivos gerais, ou então terem objetivos individuais, mas que precisam da interação de outros agentes para completá-los.

Embora haja estudos sobre epidemias com sistemas multiagentes [6], a quantidade de material sobre simulação da Malária em português é escassa [7][8], e não utiliza a mesma ferramenta utilizada por esse trabalho, o Netlogo. Existem trabalhos que fazem modelagem estatística [9], contudo, utilizando-se a abordagem de sistemas multiagentes, é possível

criar uma simulação bastante flexível, pois torna-se possível modificar vários parâmetros do cenário, tais como taxa de contágio e índice de mortalidade.

Este artigo está organizado em 3 seções: a seção II mostra o modelo computacional da malária; a seção III apresenta os resultados dos testes, e a seção IV conclui o artigo e apresenta propostas para trabalhos futuros.

II. MODELO COMPUTACIONAL

No modelo apresentado, cada retângulo representa um tipo de agente, e as setas representam as interações que ocorrem entre diferentes tipos. Por exemplo, a interação entre um agente *mosquito sadio* com um *Homem doente P. Vivax* resulta em um terceiro tipo de agente, o *Mosquito transmissor P. Vivax*. Essa relação simula um mosquito sadio que, ao picar um indivíduo com malária, é infectado com o plasmódio da mesma espécie que infectou a pessoa picada pelo mosquito.

Na Figura 1 é mostrado o modelo completo, que representa as possibilidades viáveis. Em seguida são mostrados os diferentes ciclos que o mosquito, o plasmódio e o ser humano podem estar inseridos.

Todos os ciclos partem do princípio que o mosquito está inicialmente sadio, e contrai as formas infectantes do plasmódio através de indivíduos doentes.

A. Ciclos do Modelo

O modelo desenvolvido é composto de vários ciclos.

Ciclo 1

Passos: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4a$

O mosquito sadio pica um indivíduo infectado (1) e torna-se vetor da malária (2). Os vetores picam indivíduos sadios (3) e estes contraem a doença (4a).

Ciclo 2

Passos: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4a \rightarrow 4b$

Semelhante ao ciclo 1. O mosquito sadio pica um indivíduo infectado (1), torna-se vetor da malária (2), estes picam indivíduos sadios (3), os quais ficam doentes (4a). Entretanto, conseguem se curar (4b).

Ciclo 3

Passos: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5a \rightarrow 6$

O mosquito sadio pica um indivíduo infectado (1), torna-se vetor da malária (2) e estes picam indivíduos curados da malária (5a). Adoecem novamente (6).

Ciclo 4

Passos: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4a \rightarrow 4b \rightarrow 5b$

Semelhante ao ciclo 2. O mosquito sadio pica um indivíduo infectado (1) e torna-se vetor da malária (2). Estes picam indivíduos sadios (3), os quais

ficam doentes (4a), mas conseguem se curar (4b). Entretanto, plasmódios latentes nas células do fígado ficam ativos, e o indivíduo contrai novamente a malária (5b).¹

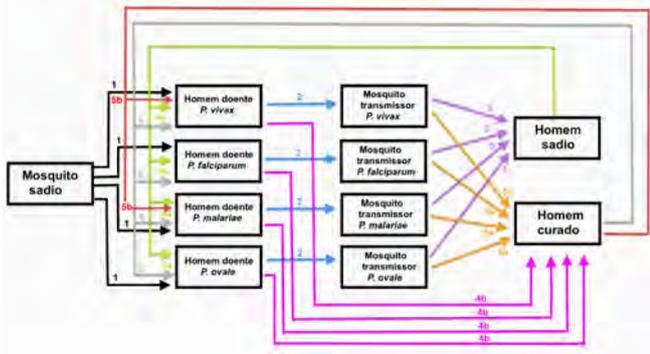


Figura 1. Modelo computacional completo

III. RESULTADOS

Foi elaborado um cenário com muitas pessoas doentes, poucas sadias e muitos mosquitos, chamado de “caso extremo”. Os testes foram executados sem medida de prevenção e com medida de prevenção.

Foram executados 10 iterações para os dois tipos de teste, todos com os mesmos dados iniciais. A tabela II mostra as taxas de contágio de cada plasmódio, a Tabela I exhibe as taxas de mortalidade e a Tabela III mostra a configuração inicial dos agentes.

Tabela I
TAXAS DE MORTALIDADE

Plasmódio	taxa de mortalidade
<i>P. vivax</i>	10%
<i>P. falciparum</i>	80%
<i>P. malariae</i>	1%
<i>P. ovale</i>	1%

Tabela II
TAXAS DE CONTÁGIO

Plasmódio	taxa de contágio
<i>P. vivax</i>	90%
<i>P. falciparum</i>	13%
<i>P. malariae</i>	4%
<i>P. ovale</i>	3%

Tabela III
DADOS INICIAIS DO CASO EXTREMO

inicial pessoas	300
inicial mosquitos	80
inicial vivax	70
inicial falciparum	70
inicial ovale	70
inicial malariae	70

¹A recaída ocorre apenas para as espécies *P. Vivax* e *P. malariae*.

A. Resultados sem medida de prevenção

Após a execução de 10 simulações, a Tabela IV exhibe a média dos resultados.

Tabela IV
RESULTADOS DO CASO EXTREMO

doentes vivax	139,7
doentes falciparum	0
doentes ovale	0
doentes malariae	0
mortes	79,8
curados	7.409,6
recaídas vivax	0
recaídas malariae	0

A quantidade de pessoas contaminadas com o plasmódio *P. vivax* é de 139,7, sendo que muitas dessas pessoas podem já ter contraído a doença várias vezes. Os contaminados pelas outras espécies de plasmódio são zero ou muito próximo disso; a possível causa é que os mosquitos transmissores desses plasmódios morreram antes de conseguirem transmitir o protozoário. No caso do *P. falciparum*, as pessoas contaminadas com esse plasmódio devem ter morrido antes do mosquito ter uma chance de picá-las.

A média de cura é de 7.409,6 pessoas, sua imensa maioria eram doentes de *P. vivax*. Esse número mostra que, embora a taxa de contágio seja muito alta, as chances de cura também são grandes, embora o risco de morte não seja zero. Na simulação, as pessoas recuperam-se totalmente (passam de doentes para sadios), mas ela não mostra as sequelas que esse plasmódio pode vir a deixar na pessoa a qual ele infectou.

B. Resultados com medida de prevenção

A medida de prevenção trata-se de um agente que se move aleatoriamente pelo ambiente e mata todo mosquito que estiver ao redor dele, seja sadio ou transmissor. A ideia desse agente de prevenção é simular um dedetizador que pulveriza inseticida nas áreas percorridas por ele.

Tanto os dados iniciais quanto as taxas de contágio dos testes com medida de prevenção são os mesmos dos sem a medida de prevenção, apenas foi acrescentado o agente que vai diminuir a população de mosquitos no ambiente. Também foram executadas 10 simulações para este caso. A média dos resultados está ilustrado na Tabela V.

Tabela V
RESULTADOS DO CASO EXTREMO COM PREVENÇÃO

doentes vivax	1,4
doentes falciparum	0
doentes ovale	0
doentes malariae	0
mortes	81
curados	1.140,9
recaídas vivax	59,7
recaídas malariae	0

O acréscimo de um agente de prevenção trouxe mudanças significativas na quantidade de doentes e na de curas. Mesmo

com um pequeno aumento de óbitos, o número de infectados com o plasmódio *P. vivax* diminuiu drasticamente. A quantidade de pessoas curadas pode ser considerada elevada à primeira vista, mas é bem menor que os apresentados pelos testes sem prevenção.

IV. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O imenso número de casos registrados todos os anos, principalmente em regiões com Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) baixo, torna a Malária um dos principais problemas de saúde pública no mundo.

Este trabalho apresentou um modelo computacional para a doença da Malária, apresentando os principais ciclos existentes. Na literatura pesquisada, um modelo assim não foi encontrado. Desta forma, acredita-se que este modelo é uma contribuição do trabalho realizado.

Os sistemas multiagentes e o Netlogo proporcionaram o desenvolvimento de um sistema muito versátil, sendo possível realizar simulações com os mais variados dados de entrada, forneceram recursos para construir interfaces limpas e permitem que refinamentos posteriores possam ser feitos com relativa facilidade. O sistema desenvolvido fornece resultados iniciais, mas já mostra como a dinâmica da doença funciona e como medidas de prevenção podem ser eficazes, além de contribuir com um modelo para a ferramenta Netlogo.

Como trabalhos futuros, vislumbra-se a implementação de outras medidas de prevenção, bem como permitir ao usuário maior controle dessas medidas através da interface. Também acredita-se que a avaliação mais rigorosa do modelo por especialistas em saúde pública seja uma próxima etapa, tornando o modelo desenvolvido mais fidedigno a realidade.

REFERÊNCIAS

- [1] "Malaria," http://portal.saude.gov.br/portal/saude/profissional/area.fm?id_area=1526, 2012, acesso em: maio de 2012.
- [2] D. Varella, "Malaria," <http://drauziovarella.com.br/doencas-e-sintomas/malaria/>, 2012, acesso em: maio de 2012.
- [3] "Malária: Sintomas, tratamento e prevenção," <http://www.brasilecola.com/doencas/malaria.htm>, 2012, acesso em: maio de 2012.
- [4] C. F. D. Control and Prevention, "Anopheles mosquitos," <http://www.cdc.gov/malaria/about/biology/mosquitos/>, 2012, acesso em: maio de 2012.
- [5] S. O. Rezende, *Sistemas Inteligentes - Fundamentos e Aplicações*. Manole, 2003.
- [6] C. N. da Fonseca, "Um modelo baseado em agentes para simulação experimental de mecanismos de controle da disseminação da dengue," Mestrado em Modelagem Computacional, Universidade Federal do Rio Grande, 2012.
- [7] A. P. B. da Silva, W. P. Tadei, and J. M. M. dos Santos, "Variabilidade genética em populações de anopheles darlingi (diptera: Culicidae) e relação ao comportamento da atividade de picar, analisada por rapd," *Acta Amazônica*, vol. 40, no. 3, pp. 585–590, 2010.
- [8] W. P. Tadei, J. M. M. dos Santos, W. L. de Souza Costa, and V. M. Scarpassa, "Biologia de anofelinos amazônicos," *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, vol. 30, no. 3, pp. 221–251, Maio-Junho 1988.
- [9] F. T. M. Costa, "On the pathogenesis of plasmodium vivax malaria: Perspective from the brazilian field," *International Journal of Parasitology*, vol. 1, no. 1, 2012.
- [10] A. P. Gomes, R. R. Vitorino, A. de Pina Costa, E. G. de Mendonça, M. G. de Almeida Oliveira, and R. Siqueira-Batista, "Malária grave por plasmodium falciparum," *Revista Brasileira de Terapia Intensiva*, vol. 23, no. 3, pp. 358–369, 2011.
- [11] WHO, "World malaria report 2011," World Health Organization, Tech. Rep., 2011.
- [12] SVS, "Sivep - malária," http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/boletim_malaria_2010_2011.pdf, 2011, acesso em: maio de 2012.
- [13] —, "Manual de diagnóstico laboratorial da malária," Ministério da Saúde, Tech. Rep., 2005.
- [14] L. P. Reis, "Coordenação em sistemas multi-agente: Aplicações na gestão universitária e futebol robótico," Ph.D. dissertation, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Julho 2003.
- [15] J. S. Garcia, A. C. B.; Sichman, *Sistemas Inteligentes - Fundamentos e Aplicações*. Manole, 2003, ch. Agentes e Sistemas Multiagentes, pp. 269–306.
- [16] U. Wilensky, "Netlogo," <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>, 1999.