

O surto de febre amarela: a modelagem do desastre de Mariana em um sistema multiagente

Jean Souza Queres, João Teixeira Araújo

Universidade Federal de Viçosa

11 de Julho de 2017

Resumo

Em novembro de 2015 houve a maior catástrofe socioambiental na história do Brasil causada pelo rompimento da barragem de Fundão, pertencente à mineradora Samarco, controlada pelas empresas BHP Billiton e Vale S.A, na cidade de Mariana, em Minas Gerais. O aumento dos casos suspeitos de febre amarela pode estar relacionado à tragédia de Mariana, visto que grande parte das cidades mineiras que identificaram casos de pessoas com sintomas da doença estão na região próxima ao Rio Doce, local onde a barragem foi rompida. Além disso mudanças bruscas no ambiente provocam impacto na saúde dos animais, incluindo macacos, que devido à falta de alimentos se tornam mais suscetíveis a doenças, como a febre amarela, que pode ser transmitida ao ser humano através de um mosquito vetor. Este trabalho tem como objetivo modelar o problema através de um ambiente de multiagentes, afim de representar como a febre amarela é disseminada através das relações entre a disponibilidade de alimentos, a presença de macacos, mosquitos e humanos em uma área semelhante à região de Minas Gerais.

1 Introdução

Cada vez mais frequentes no planeta, quer em função do descaso humano para com as leis da natureza, quer pelas mudanças no clima, os desastres ambientais são eventos adversos que transformam radicalmente ecossistemas locais com impactos diretos na sociedade. Os desastres ambientais causados pela negligência são aqueles gerados pelas ações ou omissões humanas, como por exemplo a contaminação de rios. Uma análise mais crítica das consequências causadas por desastres ambientais procura relacionar a influência do homem no surgimento de epidemias.

De acordo com dados publicados através do Informe Epidemiológico da Febre Amarela realizado pelo SES-MG no dia 26 de abril de 2017, foram notificadas 1139 suspeitas de Febre Amarela no estado de Minas Gerais, sendo confirmada a doença em 427 desses casos. O número de óbitos causados pela doença chegou a 151 no estado. O último caso registrado pelo SES-MG aconteceu no dia 14 de março de 2017.

Segundo a bióloga da Fiocruz Márcia Chame, o aumento dos casos suspeitos de febre amarela em Minas Gerais pode estar relacionado à tragédia de Mariana, quando 55 milhões de m³ de lama vazaram da barragem de Fundão após seu rompimento. A possível relação entre os dois fatos ocorrem uma vez que grande parte das cidades mineiras que identificaram casos de pessoas com sintomas da doença estão na região próxima ao Rio Doce, local onde a barragem foi rompida.

“Mudanças bruscas no ambiente provocam impacto na saúde dos animais, incluindo macacos. Com o estresse de desastres, com a falta de alimentos, eles se tornam mais suscetíveis a doenças, incluindo a febre amarela”, afirmou a bióloga ao jornal Estadão.

Na floresta, o vetor da febre amarela é o inseto *Haemagogus*. Ao picar um macaco contaminado, o mosquito recebe o vírus e, por sua vez, passa a transmiti-lo nas próximas picadas. Quando um homem sem estar vacinado entra nesse ambiente, ele também pode fazer parte do ciclo: transmitir ou ser infectado pela picada do mosquito. Essa corrente aumenta quando animais, por desequilíbrios ambientais, deixam seus ambientes e passam a viver em áreas mais próximas de povoados ou cidades. Embora não seja o único motivo que possa ter contribuído para os casos, Márcia destaca o fato de que a região já sofreu grandes abalos ambientais provocados pela mineração. “É um conjunto de coisas que vão se acumulando”, ela afirma na entrevista ao jornal.

Nas próximas seções iremos discutir o referencial teórico, metodologia, experimentos e resultados do trabalho.

2 Referencial Teórico

Nesta seção iremos pontuar alguns aspectos dessa doença. Primeiro é preciso saber que existem dois ciclos epidemiologicamente distintos:

- Febre amarela silvestre (FAS) e
- Febre amarela urbana (FAU).

No Brasil, de acordo com o Ministério da Saúde, houve o desaparecimento da forma urbana (FAU) em 1942. Consideram-se como potenciais fatores de risco para reurbanização da febre amarela no Brasil:

- expansão territorial da infestação do *Ae. aegypti*;
- áreas com *Ae. aegypti* superpostas a áreas de circulação do vírus amarílico;
- presença do *Ae. albopictus* em estados das regiões endêmicas e de transição;
- áreas urbanas infestadas por *Ae. aegypti* próximas de áreas de risco para febre amarela silvestre;
- intenso processo migratório rural-urbano, levando à possibilidade de importação do vírus amarílico dos ambientes silvestres para os urbanos.

Esta doença acomete com maior frequência o sexo masculino e a faixa etária mais atingida situa-se acima dos 15 anos, em função da maior exposição profissional, relacionada à penetração em zonas silvestres da área endêmica de FAS. Outro grupo de risco são pessoas não vacinadas que residem próximas aos ambientes silvestres, onde circula o vírus, além de turistas e migrantes que adentram esses ambientes. A maior frequência da doença ocorre nos meses de janeiro a abril, período com maior índice pluviométrico, quando a densidade vetorial é elevada, coincidindo com a época de maior atividade agrícola.

2.1 Definição

Doença infecciosa febril aguda, transmitida por vetores artrópodes, que possui dois ciclos epidemiológicos distintos (silvestre e urbano). Reveste-se da maior importância epidemiológica, por sua gravidade clínica e elevado potencial de disseminação em áreas urbanas.

2.2 Agente Etiológico

É um arbovírus (vírus transmitido por artrópodes vetores), pertencente ao gênero *Flavivirus*, família *Flaviviridae*.

2.3 Hospedeiros

Na febre amarela silvestre (FAS), os primatas não humanos (macacos) são os principais hospedeiros do vírus da febre amarela e a transmissão ocorre a partir de vetores silvestres, onde o homem participa como um hospedeiro acidental. Na febre amarela urbana (FAU), o homem é o único hospedeiro com importância epidemiológica e a transmissão se dá a partir de vetores urbanos infectados, onde o principal vetor é o *Aedes aegypti*.

2.4 Vetores Reservatórios

Os mosquitos são considerados os verdadeiros reservatórios do vírus da febre amarela. Na febre amarela silvestre, os transmissores são mosquitos com hábitos estritamente silvestres. No Brasil, a espécie *Haemagogus janthinomys* se destaca na transmissão. Na febre amarela urbana, o *Ae. aegypti* é o principal mosquito transmissor.

2.5 Modo de Transmissão

Picada dos mosquitos transmissores infectados. Não há transmissão de pessoa a pessoa.

2.6 Período de Incubação

De 3 a 6 dias, após a picada do mosquito infectado.

2.7 Período de Transmissibilidades

O período de transmissibilidade da doença compreende dois ciclos:

- Um intrínseco, que ocorre no ser humano, e outro
- Extrínseco, que ocorre no vetor.

A viremia humana dura, no máximo, 7 dias, e vai desde 24 a 48 horas, antes do aparecimento dos sintomas, a 3 a 5 dias, após o início da doença, período em que o homem pode infectar os mosquitos transmissores.

No mosquito, após um repasto de sangue infectado, o vírus vai se localizar nas glândulas salivares da fêmea do mosquito, onde se multiplica depois de 8 a 12 dias de incubação. A partir desse momento, é capaz de transmitir o vírus amarelo até o final de sua vida (de 6 a 8 semanas).

2.8 Suscetibilidade e Imunidade

A suscetibilidade é universal. A infecção confere imunidade permanente. Nas zonas endêmicas, são comuns as infecções leves e inaparentes. Os filhos de mães imunes podem apresentar imunidade passiva e transitória durante 6 meses. A imunidade conferida pela vacina dura 10 anos.

2.9 Manifestações Clínicas

O quadro clínico típico é caracterizado por manifestações de insuficiência hepática e renal tendo em geral apresentação bifásica (período de infecção e remissão):

- Período de infecção – dura cerca de 3 dias, tem início súbito e sintomas gerais, como febre, calafrios, cefalalgia, lombalgia, mialgias generalizadas, prostração, náuseas e vômitos.
- Remissão – caracteriza-se pelo declínio da temperatura e diminuição dos sintomas, provocando uma sensação de melhora no paciente. Dura poucas horas, no máximo de 1 a 2 dias.
- Período toxêmico – reaparecem a febre, a diarreia e os vômitos, com aspecto de borra de café. Caracteriza-se pela instalação de quadro de insuficiência hepato-renal, representado por icterícia, oligúria, anúria e albuminúria, acompanhado de manifestações hemorrágicas, prostração, comprometimento do sensorio, com evolução para o coma e a morte.

3 Trabalhos Semelhantes

Existem trabalhos semelhantes que já foram realizados, alguns deles com o objetivo de simular a proliferação do mosquito *Aedes aegypti* e a transmissão da dengue [Focks et al., 1993b, Focks et al., 1993a]. Outros modelos que também simulam a proliferação de doenças também podem ser usados como base. O código criado para esse projeto foi baseado na ideia do modelo do "NetLogo Virus model" (Wilensky, U. 1998).

4 Modelagem

Será utilizada a abordagem de sistemas multiagentes. Nesse tipo de abordagem cada indivíduo é modelado e implementado através de um agente computacional capaz de interagir com o ambiente e com outros agentes através de sensores e atuadores [Sandholm, 1999, Wooldridge, 2002, Vlassis, 2003]. Será modelado o ambiente da catástrofe nesse sistema de forma que nos permita simular e analisar o grau de relação entre o desequilíbrio ambiental causado pelo desastre e o aumento dos casos de Febre Amarela.

Pode-se observar no experimento que existem quatro agentes presentes no modelo: humanos, macacos, mosquitos vetores e as árvores representando a fonte de alimento utilizada pelos macacos.



Figura 1: Humano



Figura 2: Macaco



Figura 3: Mosquito



Figura 4: Árvore

Nosso ambiente é composto por quatro partes: a faixa azul representando as águas do Rio Doce, a faixa marrom e o quadrado delimitado por uma faixa laranja representando a barragem, as margens do rio e zona rural representados pela faixa verde, juntamente com as árvores, e a zona urbana representada pela faixa cinza do mapa. A movimentação do macaco e do humano estão delimitadas a zona rural e urbana respectivamente, enquanto que o mosquito vetor pode se locomover nas duas áreas.

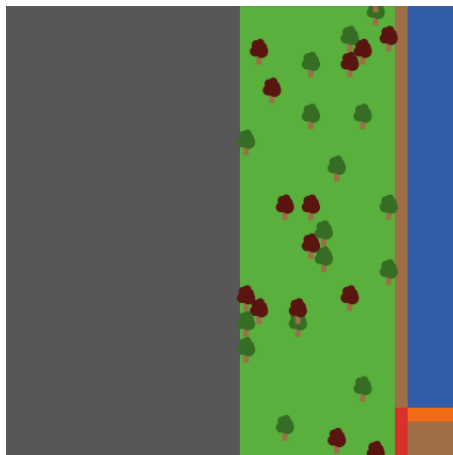


Figura 5: Cenário

O ser humano e o mosquito podem assumir mais de um estado. O ser humano começa com uma coloração verde que significa saudável, depois de picado é necessário um tempo de incubação do vírus até que a doença se manifeste, que é representada pela coloração cinza. Depois desse período a manifestação da doença é então representada pela coloração vermelha. O mosquito por sua vez possui dois estados, não contaminado e contaminado representados pela coloração branca e avermelhada respectivamente.



Figura 6: Estados do humano



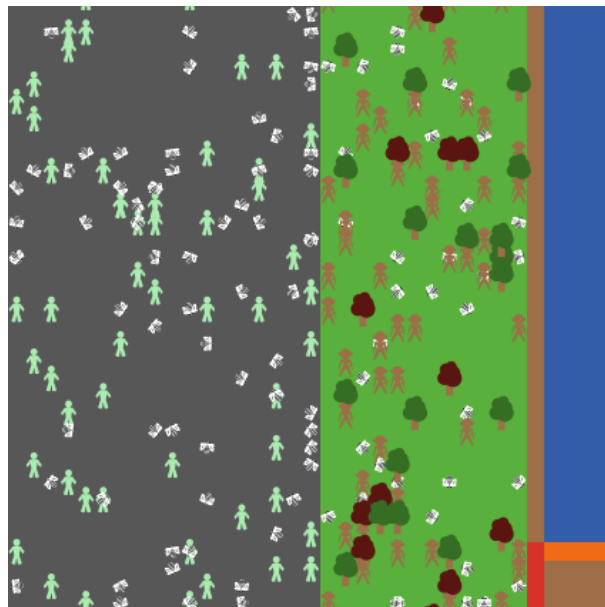
Figura 7: Estados do mosquito

O grau de detalhamento do modelo pode ser controlado através de variáveis como o número de indivíduos saudáveis iniciais, o número de macacos, o número de mosquitos, a chance de transmissão da doença, e a chance de reprodução do mosquito. O modelo ainda nos permite analisar o estado do ambiente antes e depois do rompimento da barragem.

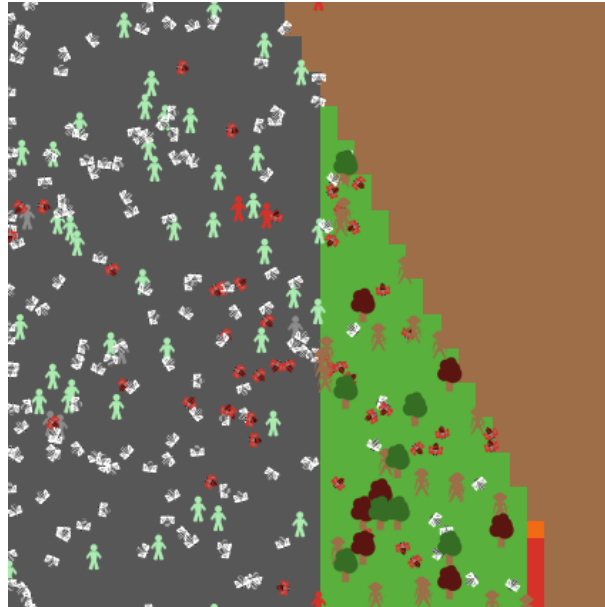
5 Experimento

Podemos dividir nosso modelo cronologicamente em duas fases:

A primeira parte mostra o nosso cenário antes do rompimento da barragem e a ploriferação da doença.



Depois dos primeiros 50 dias acontece o rompimento da barragem, resultando no fluxo de lama se espalhando pelo rio e parte da área verde. Com o avanço da lama temos a diminuição do espaço utilizado pelos macacos e também o desaparecimento de parte das árvores.



Como descrito anteriormente a má nutrição dos animais, nesse caso o macaco, pode causar uma redução no sistema imunológico desses mamíferos e maior suscetibilidade ao contágio da doença. Para o nosso experimento, vamos assumir que pessoas com febre amarela entre 10-15 dias, tem 50% de chance de morrer e que o mosquito pode viver cerca de 30 a 45 dias. Inicialmente iremos rodar nosso modelo com os seguintes parâmetros:

- 160 pessoas (fixos, ie, sem reprodução);
- 16 macacos (10% do número de pessoas, também fixo);
- 120 mosquitos (com um limite máximo de 200);
- 30% de chance de infectar um humano;
- 70% de chance de reprodução do mosquito.

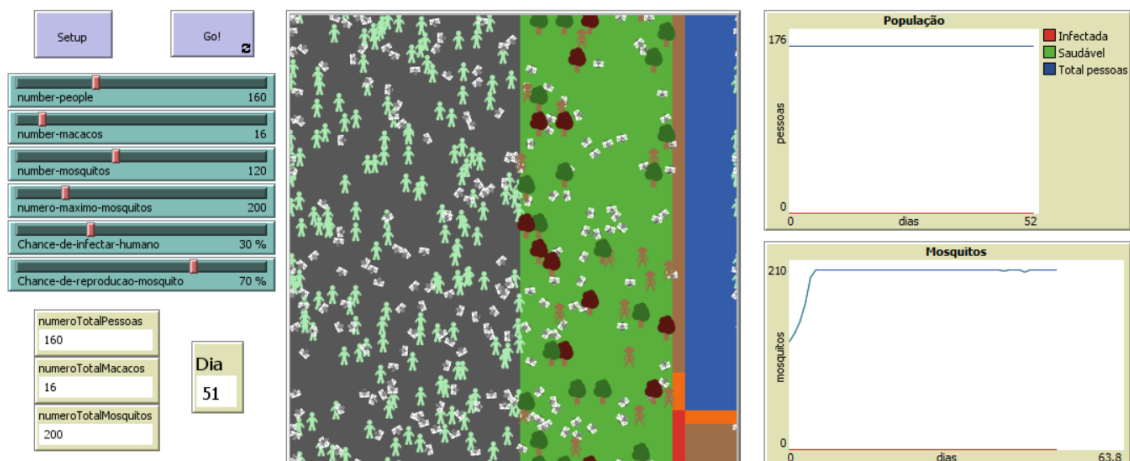


Figura 8: Primeiros 50 dias

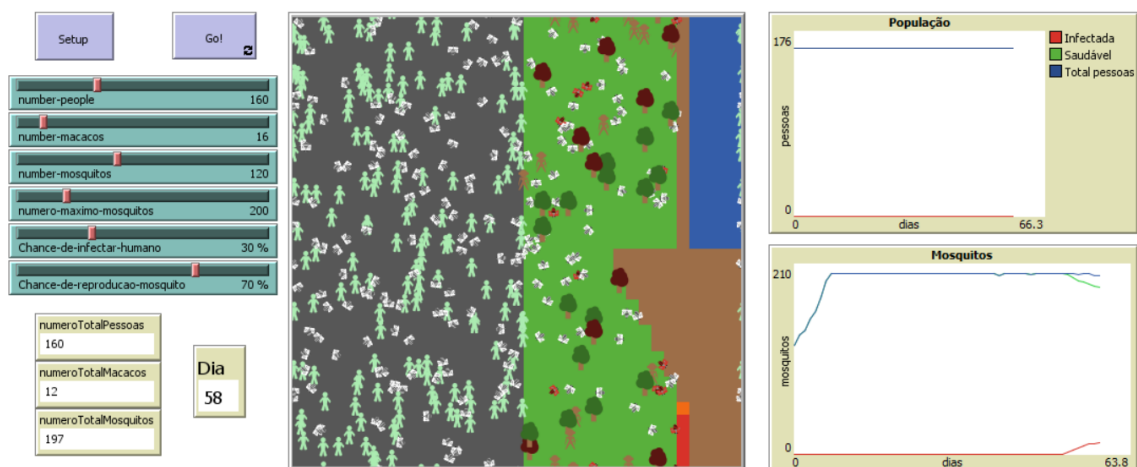


Figura 9: Primeira semana após rompimento da barragem

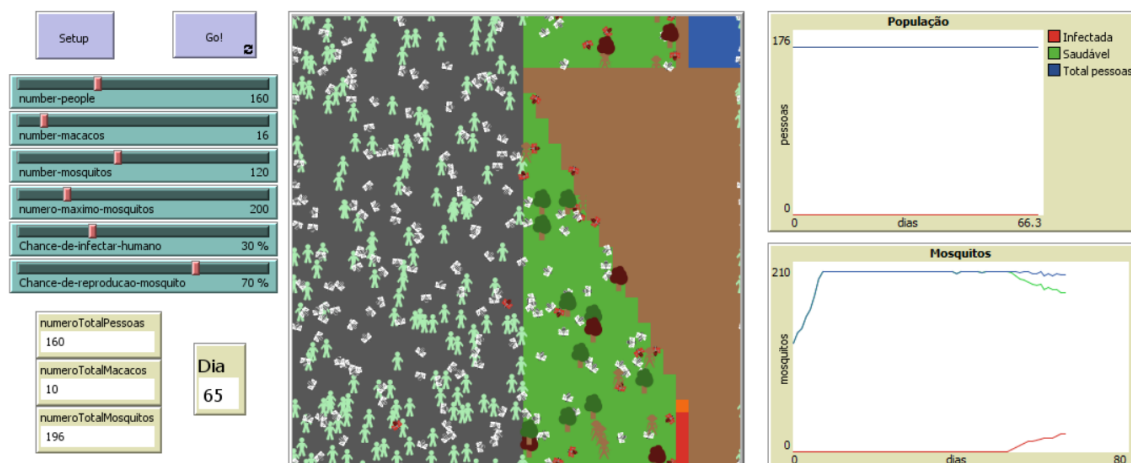


Figura 10: Segunda semana após rompimento da barragem

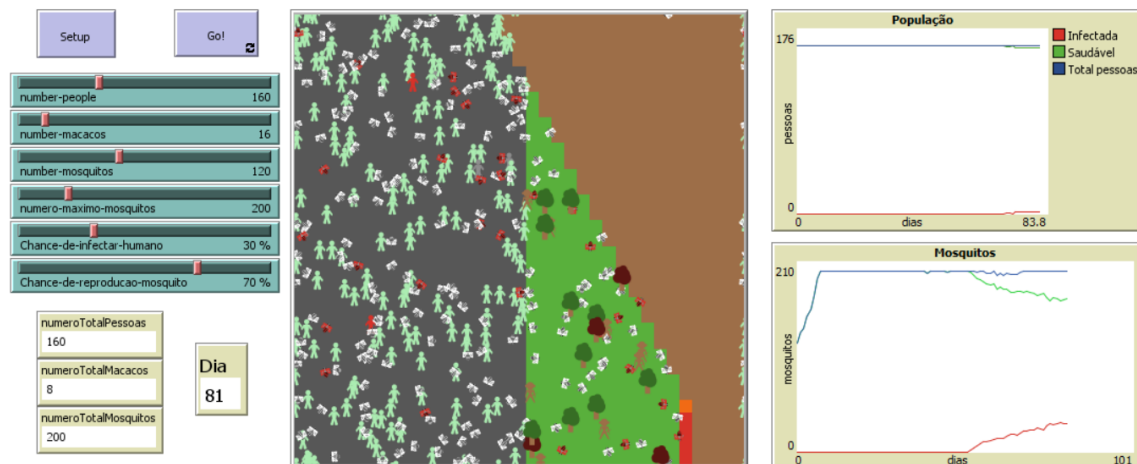


Figura 11: Um mês após rompimento da barragem

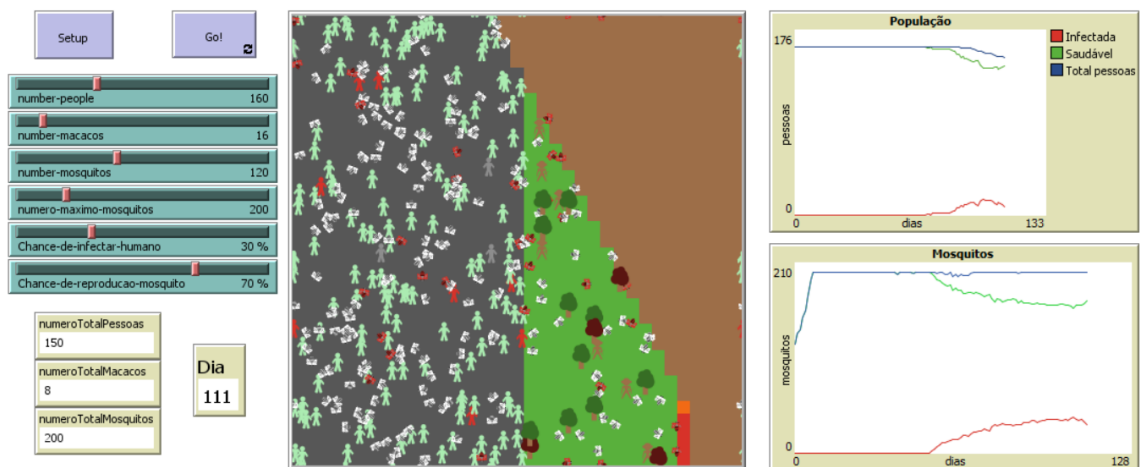


Figura 12: Segundo mês após rompimento da barragem

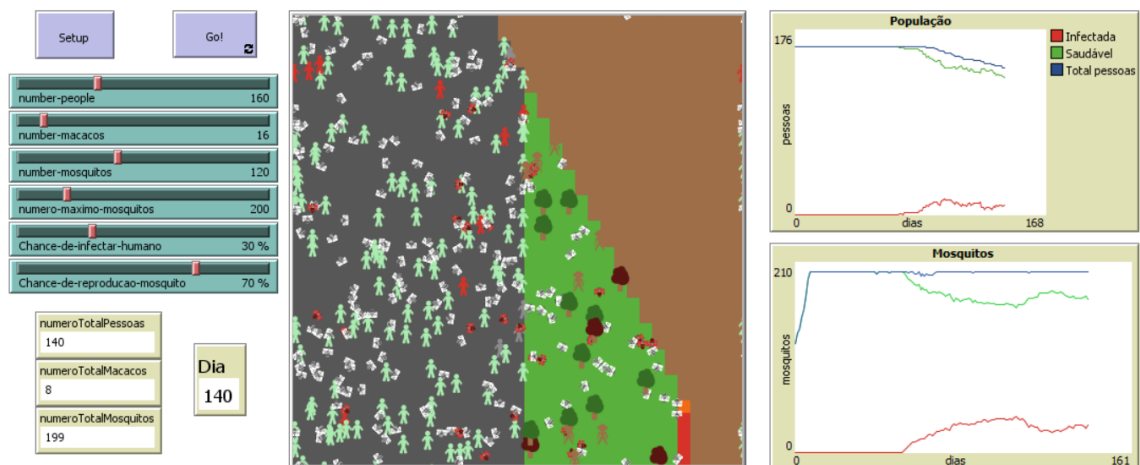


Figura 13: Terceiro mês após rompimento da barragem

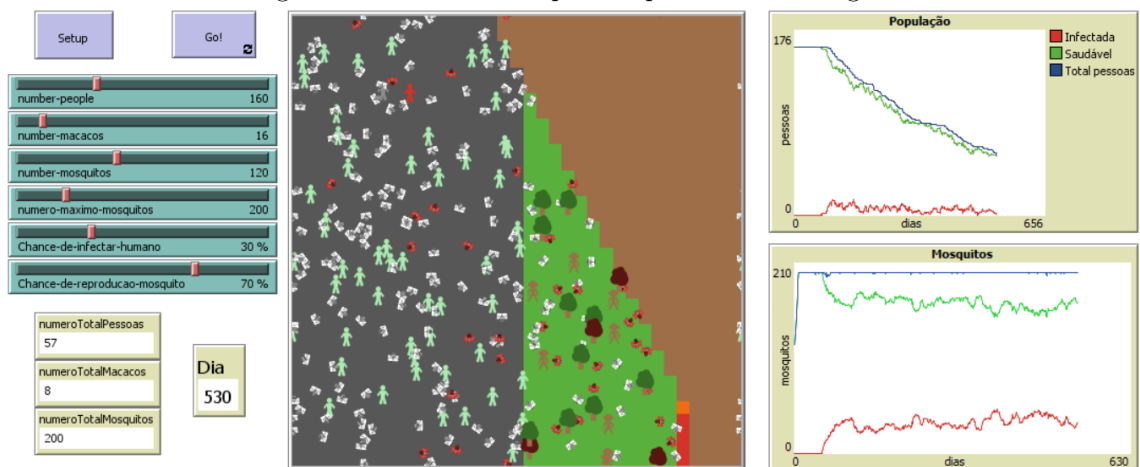


Figura 14: Um ano e quatro meses após rompimento da barragem

6 Resultados

O modelo possui muitas limitações, mas é possível retirar algumas conclusões do trabalho descrito. É possível notar que a medida em que a lama cobre a parte das águas e habitat dos macacos eles são forçados a se concentrar em uma área menor com uma quantidade de recursos também menor. O número de mosquitos atingem seu valor máximo, muito em função da falta de predadores. Os macacos, sem grande parte do seu alimento e suscetível ao contágio da febre amarela, teve seu número reduzido a metade antes do fim primeiro mês. A quantidade de insetos contaminados cresce gradativamente até o segundo mês, mas depois tem uma recaída que pode estar relacionada a então redução do número de macacos. E por fim o nível mais preocupante que é a alta taxa de mortalidade dos humanos, que em um ano e quatro meses teve sua população reduzida a menos da metade inicial. O modelo sugerido pode ajudar pesquisadores a entender melhor quais foram os impactos a médio e longo prazo causados pelo desastre ambiental em Mariana.

6.1 Trabalhos Futuros

Ainda existem muitos pontos a se considerar como por exemplo a inserção de predadores, a reprodução dos humanos e a dos macacos. Um ponto fundamental também será a participação de um especialista da saúde durante o processo, não só para tirar dúvidas, mas também com novas ideias que podem edificar o trabalho. E certamente, quanto mais dados e informações disponíveis para acrescer ao modelo, mais preciso ele se tornará.

7 Referências

NetLogo Virus model. Wilensky, U. (1998). Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.

Disponível em: <<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Virus>> Acesso em 09 de julho de 2017.

Wilensky, U. (1999). NetLogo. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL. Disponível em: <<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>> Acesso em 09 de julho de 2017.

Para bióloga, surto de febre amarela pode ter relação com tragédia de Mariana. Disponível em: <<http://saude.estadao.com.br/noticias/geral,para-biologa-surto-de-febre-amarela-poder-relacao-com-tragedia-de-mariana,10000100032>> Acesso em 09 de julho de 2017.

Informe Epidemiológico da Febre Amarela (26/04). Disponível em: <<http://www.saude.mg.gov.br/component/gmg/story/9324-informe-epidemiologico-da-febre-amarela-26-04>> Acesso em 09 de julho de 2017.

Modelo e simulação multiagente de uma população de mosquitos *Aedes aegypti*. ALMEIDA, Sandro 2007. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp036197.pdf>> Acesso em 09 de julho de 2017.