

**INSTITUTO
FEDERAL**

Norte de Minas Gerais

Campus
Januária

BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

TRABALHO 02

Equipe técnica:

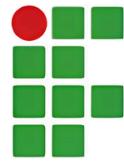
Clebson Santos,
Wallan Melo e Victor
Guedes

Trabalho como parte de
obtenção de nota para a
disciplina de Sistemas de
Apoio à Decisão.

Orientador: Prof. Helder
Seixas Lima

Januária MG

2025



**INSTITUTO
FEDERAL**

Norte de Minas Gerais

Campus
Januária

BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

TRABALHO 02: Modelagem Matemática Da Dengue

Januária MG

2025

Trabalho 2 – Modelagem matemática da dengue

Objetivo

Desenvolver e analisar um modelo matemático que represente a dinâmica da dengue no município de Januária-MG durante o ano de 2024, utilizando dados reais disponibilizados no arquivo Trabalho_02_dataset_dengue_januaria_2024.csv.

O objetivo é compreender como a variação dos parâmetros do modelo influencia a propagação da doença e comparar o comportamento simulado com os casos observados.

Descrição da atividade

O trabalho consiste em propor, implementar e avaliar um modelo epidemiológico que descreva o surto de dengue em Januária.

A proposta deve considerar:

- 1.** A natureza vetorial da dengue, que é transmitida por mosquitos (*Aedes aegypti*), o que implica que a população de mosquitos também influencia a taxa de infecção entre humanos;
- 2.** A necessidade de representar de forma simplificada ou detalhada os compartimentos relevantes (ex.: suscetíveis, infectados, recuperados, mosquitos infecciosos etc.);
- 3.** A calibração dos parâmetros do modelo a partir dos dados reais (número de novos casos semanais).

1. Análise exploratória dos dados

Discussão dos Fatores externos

Nas primeiras semanas é perceptível um grande aumento nos casos prováveis, isso pode significar que nessas semanas houve um aumento na quantidade de chuva, uma vez que a Dengue se prolifera principalmente em épocas de chuvas constantes.

O que pode ter acontecido é uma transição de época quente e seca, para uma época chuvosa, já que como a temperatura era mais alta durante a seca, as ações de controle contra dengue e chuvas eram mais baixas, acabou resultando nesse "relaxamento" contra a

dengue nesse período, que foi perceptível o efeito que isso causou entre a semana 2 e a semana 9. Esse período indicado representa a volta das chuvas, que mudou o clima na região e possibilitou a proliferação do mosquito transmissor da dengue, resultando no aumento dos casos.

Após a semana 9, onde há a queda nos números de casos prováveis, significa que a população de mosquitos provavelmente teve uma queda acentuada também, uma vez que, nesse período, provavelmente houve uma queda na quantidade de chuvas, e aumento na quantidade de ações de controle por parte das pessoas.

2. Formulação do modelo

Escolha da estrutura de modelagem:

A Estrutura de Modelagem escolhida para a situação foi modelo compartmental, SIR para a análise dos casos dos humanos e SI para os casos dos mosquitos.

Estrutura do Modelo Compartimental:

- > **S:** Suscetível
- > **I:** Infectado
- > **R:** Recuperado

Papel da População de Mosquitos na Transmissão do Vírus:

A população de mosquitos está diretamente relacionada à quantidade de pessoas infectadas nesse modelo, uma vez que, quanto maior a população de mosquitos, maior a população de mosquitos infectados (por ser mais provável um mosquito se contaminar). Dessa forma, quanto maior a população de mosquitos infectados, maior a quantidade de pessoas que serão infectadas por esses mosquitos. Já que a dengue somente se prolifera de forma mosquito-pessoa, e não pessoa-pessoa.

Justificativa dos Parâmetros e demais escolhas:

Os humanos quando infectados podem se recuperar e até adquirir imunidade de forma temporária (até uma nova variante da doença/vírus), já os Mosquitos, normalmente quando

infetados uma vez, permanecem assim até morrer, pois não há uma recuperação imunológica conhecida.

3. Implementação computacional

Os arquivos de Implementação estão no github abaixo.

Link: <https://github.com/WallanMelo/Decision-Support-Systems/tree/main/Work03>

4. Otimização e ajuste de parâmetros

No modelo matemático(que possui equações diferenciais) que simula a epidemia de dengue, existem vários parâmetros que influenciam o comportamento da doença na população, uma delas é a geração de uma curva simulada que tem como base certos parâmetros como por exemplo:

- > taxa de transmissão do mosquito para o humano ---> taxa_transm_mosq_hum
- > taxa de transmissão do humano para o mosquito ---> taxa_transm_hum_mosk
- > população total de mosquitos ---> populacao_mosquitos

Todos esses parâmetros são difíceis de serem medidos de forma direta na vida real, então a gente faz ajustes ou otimizações até que a curva que estamos querendo simular fique o mais parecida possível com os dados de casos reais. Para que isso seja possível utilizamos a seguinte técnica ---> Nonlinear Least Squares ou Mínimos Quadrados Não Lineares como chamamos em português.

Essa é uma técnica que é implementada pela seguinte função no código, curve_fit, que é uma função da lib Scipy, essa função tem como objetivo minimizar o erro quadrático

médio(mse), ou seja, a diferença entre os casos reais, e os casos que são simulados pelo modelo matemático, essa função muda os parâmetros diversas vezes até que seja encontrada o conjunto que gera o menor erro.

Durante essa otimização os seguintes parâmetros taxa_recuperacao, e taxa_morte_mosq são fixos, isso acontece porque eles têm uma base biológica já conhecida (7 dias para se curar, 14 dias de vida do mosquito), como disponibilizado nas fontes.

Na função do curve_fit, as funções das variáveis são:

- > p0 ---> são todos os valores iniciais de cada parâmetro.
- > bounds ---> define os limites buscando evitar números muito absurdos.
- > curve_fit ---> faz o processo de tentativa e erro automático, simulando várias vezes a epidemia e comparando com os dados.

A variável popt é responsável por armazenar os melhores valores encontrados, após o processo de otimização utilizamos como métrica o mse para sabermos se o nosso modelo se encaixa de forma boa com os dados reais, quanto maior o mse, pior é o encaixe do modelo com os dados.

5. Análise dos resultados

Limitações:

- A população de mosquitos é tratada como uma constante, na prática, a abundância de mosquitos varia com chuva, temperatura e intervenções.
- A sazonalidade não foi modelada de forma explícita, e as chuvas e temperatura afetam fortemente a dinâmica do vetor.
- A estrutura do SIR e SI que utilizamos é bastante simples pois não há compartimentos por idade, comportamento humano, e até período de incubação no mosquito, ou alguma intervenção, seja limpeza, ou campanhas.

Melhorias:

- Tornar a população de mosquitos em função do tempo, por exemplo, podemos usar um componente periódico com amplitude e fase ajustáveis ou então usar dados meteorológicos (chuva/temperatura) como sendo co-variáveis.
- Outra melhoria seria utilizar um outro modelo para os humanos e mosquitos como por exemplo: o modelo SEIR para os humanos e o modelo S-E-I para os mosquitos, adicionando incubação para humanos e/ou mosquitos pois dessa forma conseguimos capturar os atrasos biológicos que é o período de incubação.

Conclusão

O modelo compartmental SIR e SI forneceu uma aproximação razoável da dinâmica observada em Januária no ano de 2024, capturando o pico principal e a tendência geral. No entanto, as limitações listadas (principalmente sazonalidade e subnotificação) sugerem cautela na interpretação quantitativa dos parâmetros, o modelo é mais útil para entendimento qualitativo da dinâmica e para orientar investigações e intervenções, mas necessita de refinamento para previsões operacionais.

Referência Bibliográfica:

AGUIAR, M. et al. Mathematical models for dengue fever epidemiology: A 10-year systematic review. *Physics of Life Reviews*, v. 40, p. 65-92, 2022. DOI: 10.1016/j.plrev.2022.02.001.

AHMAN, Q. O. et al. Mathematical modeling of dengue virus transmission: exploring vector, vertical, and sexual pathways with sensitivity and bifurcation analysis. *BMC Infectious Diseases*, v. 25, n. 999, 2025. DOI: 10.1186/s12879-025-11435-y.

BRASIL. Ministério da Saúde. Arboviroses. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/a/arboviroses>. Acesso em: 02 nov. 2025.

FIOCRUZ – Instituto Oswaldo Cruz. Aedes aegypti: vetor e doença. Disponível em: <https://www.ioc.fiocruz.br/dengue/textos/aedesvetoredoenca.html>. Acesso em: 01 nov. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Município de Januária (MG). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/januaria.html>. Acesso em: 03 nov. 2025.

RAZA, A.; ARIF, M. S.; RAFIQ, M. A reliable numerical analysis for stochastic dengue epidemic model with incubation period of virus. *Advances in Difference Equations*, v. 2019, n. 32, 2019. DOI: 10.1186/s13662-019-1958-y.

SERRAPILHEIRA. Por que os mosquitos da dengue não adoecem? Disponível em: <https://serrapilheira.org/por-que-os-mosquitos-da-dengue-nao-adoecem/>. Acesso em: 08 nov. 2025.