

UM ESTUDO DA PROPAGAÇÃO DE EPIDEMIAS A PARTIR DO MODELO SIRD

Maria Luiza Salles A. Jacob

Lara Aleera Correia de Farias

Lucas Fernandes Dervichian

Rafael de Souza Santos

Colégio Santa Rita

Resumo

Epidemias são surtos de doenças que se espalham rapidamente em uma população. SIRD é o modelo que se utiliza para estudá-las, que divide a população em quatro grupos: suscetíveis (S), infectados (I), recuperados (R) e mortos (D). Esse modelo matemático permite prever como a doença se propaga ao longo do tempo. Software baseado no SIRD pode simular a evolução de uma epidemia a partir de dados e taxas, gerando previsões que ajudam a comparar resultados com casos reais, como por exemplo, a dengue no Brasil, auxiliando nas decisões na saúde pública. Esse projeto tem como objetivo, calcular médias e como dito anteriormente, auxiliar na saúde pública do Brasil, também fazendo com que a população se previna previamente e evite um grande surto de epidemias.

Introdução

O modelo SIRD (suscetíveis, infectados, recuperados e mortes) é um modo matemático que auxilia na compreensão da propagação de epidemias a partir da divisão da população em diferentes grupos e com base também na análise de taxas específicas. Esse estudo é essencial para estimar o avanço de uma epidemia, prever cenários dentre outras ocasiões. Neste projeto será proposta a aplicação desse modelo utilizando dados de uma doença fictícia comparando também dados reais da dengue, por meio de um software que calculará as probabilidades dessa propagação.

Objetivo

Calcular a propagação de uma epidemia, por meio de um modelo matemático, para que possam ser tomadas medidas preventivas para que os casos baixem conforme os anos, também analisar os dados da modelagem matemática em comparação com os dados reais. Além de mostrar a alunos do ensino médio a possibilidade de estudar a propagação de epidemias de forma adaptada.

Metodologia

Realização de uma pesquisa científica com referência bibliográfica e criação um sistema feito no Visual Studio, que calcula a propagação de uma epidemia, utilizando dados como: população total; Número de indivíduos suscetíveis; número de indivíduos infectados; número de indivíduos recuperados; número de indivíduos mortos; taxa de infecção, taxa de recuperação e taxa de mortalidade.

Desenvolvimento

O que é epidemia?

Quando em uma determinada região o número de casos de uma certa doença supera a expectativa para um determinado período de tempo é considerado uma epidemia.

Caso essa disseminação ultrapasse as fronteiras de um país e atinja outros países ou continentes, passa a ser chamada de pandemia. Um exemplo conhecido de pandemia é a Covid-19.

Como identificar uma epidemia

Para descobrir se uma doença está se alastrando de forma anormal, é importante calcular a taxa de incidência. Esse cálculo é feito dividindo-se o número de novos casos registrados em um determinado local e período pela população total daquele local, no mesmo intervalo de tempo. Depois de encontrar essa taxa, é preciso compará-la com dados médios de anos anteriores, na mesma época. Se a taxa atual estiver acima do chamado limiar epidêmico, ou seja, do valor máximo considerado normal, então podemos concluir que está ocorrendo uma epidemia.

Fatores que podem ajudar no surgimento de epidemias

Diversos fatores podem contribuir para o surgimento de epidemias. Entre eles, estão a ausência de saneamento básico, a má alimentação, a higiene inadequada, a poluição ambiental, mudanças no clima o uso de drogas, o estresse e até mesmo mutações genéticas ou virais.

As doenças disseminadas por vetores, como os mosquitos, costumam ser mais comuns em locais com clima quente e úmido, demonstrando como as variações climáticas influenciam na disseminação dessas enfermidades. Além disso, condições sanitárias deficientes aumentam significativamente o risco de transmissão de doenças. Um exemplo disso é a cólera, que pode ser contraída ao consumir água ou alimentos contaminados, algo mais frequente em locais sem infraestrutura adequada de saneamento.

Outro fator importante a ser considerado é a mobilidade humana. Hoje em dia, com a facilidade de deslocamento entre cidades, países e continentes, doenças podem se espalhar com muito mais rapidez, tornando o controle de epidemias um desafio ainda maior.

Modelo SIRD

O Modelo SIRD, é uma extensão do modelo SIR, é usado para descrever a propagação de doenças infecciosas em uma população. SIRD significa:

- S: Suscetíveis (indivíduos que podem contrair a doença)
- I: Infectados (indivíduos que estão com a doença e podem transmiti-la)
- R: Recuperados (indivíduos que se recuperaram e adquiriram imunidade)
- D: Mortos (indivíduos que morreram por causa da doença)

Com o tempo, os indivíduos vão mudando de grupo. Por exemplo:

- Quem está em S pode passar para I (se pegar a doença)
- Quem está em I pode ir para R (se se recuperar) ou para D (se não resistir)

O modelo SIRD é feito com equações diferenciais, a partir da análise dos dados de epidemias, mas para este trabalho o modelo foi adaptado para, sendo utilizadas funções de crescimento constante com o nível de ensino médio e melhor compreensão:

- Transmissão:

A quantidade de pessoas que sai do grupo S e entra no grupo I depende de:

- Quantos suscetíveis existem
- Quantos infectados existem
- Taxa de contágio (Quão fácil é a transmissão da doença ?)

- Recuperação:

Os Infectados saem de I e vão para R com uma certa taxa de recuperação.

- Mortalidade:

Uma parte dos infectados também pode sair de I para D, com uma taxa mortalidade.

Representação Simplificada

Em um modelo epidemiológico, tomaremos como base uma cidade com população de 1000 pessoas. Inicialmente quase todos os indivíduos estão no grupo S (suscetíveis), com apenas 1 ou 2 pessoas no grupo I (infectados). Com o tempo, os infectados transmitem a doença para os suscetíveis, fazendo com que o número de infectados cresça e o de suscetíveis diminua. À medida que a epidemia avança, parte dos infectados se recupera, indo para o grupo R (recuperados), enquanto outra parte pode falecer, migrando para o grupo D (falecidos). Ao final, praticamente não há mais indivíduos infectados, restando principalmente

os grupos R e D. Os indivíduos que permaneceram em S durante todo o processo nunca foram infectados pela doença.

Utilidade do modelo SIRD

O modelo SIRD é útil pois permite prever o número de pessoas que podem ser infectadas simultaneamente. Ele também ajuda a estimar o impacto de medidas preventivas como vacinas, isolamento social ou o uso de outros tipos de prevenção, já que essas ações podem reduzir a taxa de transmissão do vírus. Além disso, esse modelo transforma uma situação real, como uma epidemia, em uma modelagem matemática, o que facilita o estudo de cenários e a tomada de decisões em relação à saúde pública.

Equações para cálculo de propagação:

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\beta IS}{N},$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\beta IS}{N} - \gamma I - \mu I,$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I,$$

$$\frac{dD}{dt} = \mu I,$$

Onde β, γ, μ são: taxa de infecção, recuperação e mortalidade respectivamente.

Para este trabalho serão consideradas as derivadas de S, I, R e D como constantes.

Aplicação Hipotética do Modelo SIRD

Para a análise dos dados foi criada uma doença fictícia cujos seguintes dados são:

- Nome: Febre Hemotrópica
- Agente causador: Vírus de RNA, da família dos Flavírus (mesma da dengue e febre amarela) transmitido por mosquitos Aedes Hemotropus, inseto parecido com o aedes aegypti, mas adaptado a climas mais frios
- Modo de transmissão: Picada do mosquito infectado
- Não há transmissão direta entre pessoas

- População total: 1.000.000 (um milhão de indivíduos)
- Número de indivíduos suscetíveis: 700.000
- Número de indivíduos infectados: 200.000

- Número de indivíduos recuperados: 90.000
- Número de indivíduos mortos: 10.000

Taxas:

- Taxa de infecção: 0,2 (20% da população podem se infectar)
- Taxa de recuperação: 0,45 (45% dos infectados se recuperam em certo tempo)
- Taxa de mortalidade: 0,05 (5% dos infectados falecem)

Dados reais utilizados na comparação

Em 2024 o Brasil apontou um recorde de mortes pela dengue, 2.276 mortes foram investigadas com suspeita e 2197 mortes foram confirmadas, ultrapassando todas as marcas dos últimos 10 anos.

Apenas nos 4 primeiros meses de 2024, 4,3 milhões de indivíduos contraíram a dengue, isso evidencia a pior epidemia desde o ano de 2015, quando os casos totais foram 1.688.688.

Apesar da queda de quase 70% dos casos nos primeiros meses de 2025, o Brasil superou o marco de um milhão de prováveis casos de dengue, segundo os dados que o ministério da saúde divulgou, 681 mortes foram constatadas.

- População total 2024: 212.600.000
- Número de indivíduos suscetíveis: Não disponível
- Número de indivíduos infectados: 6.484.890
- Número de indivíduos recuperados: 90.000
- Número de indivíduos mortos: 5.972

Taxas:

- Taxa de infecção: Não disponível
- Taxa de recuperação: Não disponível
- Taxa de mortalidade: 0,092%

- População total 2025: 213.400.000
- Número de indivíduos suscetíveis: Não disponível
- Número de indivíduos infectados: 1.019.033
- Número de indivíduos recuperados: Não disponível
- Número de indivíduos mortos: 681

Taxas:

- Taxa de infecção: Não disponível
- Taxa de recuperação: Não disponível
- Taxa de mortalidade: 0,067

Resultados e Discussões

Resultado do software e sua programação

Número de indivíduos suscetíveis	Número de indivíduos infectados	Número de indivíduos recuperados	Número de indivíduos mortos
700000	200000	90000	10000
População total	Taxa de infecção	Taxa de recuperação	
1000000	0,2	0,45	
Taxa de mortalidade	Início	Fim	
0,05	1	365	
CALCULAR			
Suscetíveis: 627421 Infectados: 0 Recuperados: 335322 Mortos: 37258			

```

1 referência
public void CalcularSIRD(double S0, double I0, double R0, double D0, double beta, double gamma, double mu, double N, double tInicio)
{
    int numPontos = 1000;
    double[] t = new double[numPontos];
    double[] S = new double[numPontos];
    double[] I = new double[numPontos];
    double[] R = new double[numPontos];
    double[] D = new double[numPontos];

    // Condições iniciais
    S[0] = S0;
    I[0] = I0;
    R[0] = R0;
    D[0] = D0;

    // Resolução do sistema
    for (int i = 1; i < numPontos; i++)
    {
        // Cálculo das taxas
        double dS = -beta * S[i - 1] * I[i - 1] / N;
        double dI = beta * S[i - 1] * I[i - 1] / N - gamma * I[i - 1] - mu * I[i - 1];
        double dR = gamma * I[i - 1];
        double dD = mu * I[i - 1];

        // Atualizando os valores para o próximo passo de tempo
        S[i] = S[i - 1] + dS * dt;
        I[i] = I[i - 1] + dI * dt;
        R[i] = R[i - 1] + dR * dt;
        D[i] = D[i - 1] + dD * dt;

        t[i] = tInicio + i * dt;
    }
}

```

```

        D[i] = D[i - 1] + dD * dt;

        t[i] = tInicio + i * dt;
    }

    // Exibir os resultados na interface
    label_Suscetiveis.Text = $"Suscetiveis: {S[numPontos - 1]:0}";
    label_Infectados.Text = $"Infectados: {I[numPontos - 1]:0}";
    label_Recuperados.Text = $"Recuperados: {R[numPontos - 1]:0}";
    label_Mortos.Text = $"Mortos: {D[numPontos - 1]:0}";
}

1 referência
private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        // Lendo os valores dos TextBoxes
        double S0 = Convert.ToDouble(txtS0.Text);
        double I0 = Convert.ToDouble(txtI0.Text);

```

```

        label_Mortos.Text = $"Mortos: {D[numPontos - 1]:0}";
    }
}

1 referência
private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        // Lendo os valores dos TextBoxes
        double S0 = Convert.ToDouble(txtS0.Text);
        double I0 = Convert.ToDouble(txtI0.Text);
        double R0 = Convert.ToDouble(txtR0.Text);
        double D0 = Convert.ToDouble(txtD0.Text);
        double N = Convert.ToDouble(txtN.Text);
        double beta = Convert.ToDouble(txtBeta.Text);
        double gamma = Convert.ToDouble(txtGamma.Text);
        double mu = Convert.ToDouble(txtMu.Text);
        double tInicio = Convert.ToDouble(txtTInicio.Text);
        double tFim = Convert.ToDouble(txtTFim.Text);

```

```

        // Chamando a função para calcular
        CalcularSIRD(S0, I0, R0, D0, beta, gamma, mu, N, tInicio, tFim);
    }
    catch (Exception ex)
    {
        MessageBox.Show($"Erro ao calcular: {ex.Message}");
    }
}

```

Baseado no sistema pode-se verificar que esse modelo matemático é eficaz e capaz de calcular médias futuras para possíveis epidemias existentes. Fazendo com que epidemias sejam evitadas e pesquisas sejam feitas com mais facilidade. Desta forma é possível fazer com que diversas áreas adotem essa forma de resolver problemas, com auxílio de diversos softwares e cálculos adaptados, a fim de melhorar a saúde pública e a qualidade de vida da população.

Considerações Finais

Em relação aos fatos mencionados, conclui-se que, o modelo matemático SIRD juntamente ao software criado e a comparação com os dados reais, é útil para a compreensão da propagação de uma epidemia. Servindo como apoio à análises epidemiológicas e como ferramenta para orientar estratégias de prevenção e controle.

Referências Bibliográficas

SARDINHA, V. **Epidemia**. Disponível em:
<<https://mundoeducacao.uol.com.br/doencas/epidemia.htm>>.

20/08/25 12:15

Epidemiological models in high school mathematics education. **Communications in Mathematical Biology and Neuroscience**, 2020

03/09/2025 11:59

Brasil tem 2,2 mil mortes por dengue; e o cenário pode piorar por conta do desastre ocorrido no RS. Disponível em: <<https://cnm.org.br/comunicacao/noticias/brasil-tem-2-2-mil-mortes-por-dengue-e-o-cenario-pode-piorar-por-conta-do-desastre-ocorrido-no-rs>>.

04/09/2025 09:51

SILVA, S. **Brasil ultrapassa marca de um milhão de casos de dengue em 2025 - Cofen.** Disponível em: <<https://www.cofen.gov.br/brasil-ultrapassa-marca-de-um-milhao-de-casos-de-dengue-em-2025/>>.

04/09/2025 09:52

Brasil registra queda de quase 70% nos casos de dengue nos dois primeiros meses de 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2025/03/brasil-registra-queda-de-quase-70-nos-casos-de-dengue-nos-2-primeiros-meses-de-2025>>.

04/09/2025 09:53

Vista do Modelagem matemática de epidemias no processo de ensino e aprendizagem de funções matemáticas. Disponível em:
<<https://proceedings.sbmac.emnuvens.com.br/sbmac/article/view/4837/4898>>.

24/09/2025 15:06

DE, C. **Casos de dengue em 2024 passam de 6,4 milhões; mortes somam 5,9 mil.** Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2025-01/casos-de-dengue-em-2024-passam-de-64-milhoes-mortes-somam-59-mil>>.

24/09/2025 15:11