

MODELOS EPIDEMIOLÓGICOS BÁSICOS EM UMA PROPOSTA DE EVOLUÇÃO TEMPORAL DA AIDS

 <https://doi.org/10.56238/sevened2024.042-008>

Carlos Andres Reyna Vera Tudela

E-mail: carlos.reyna.veratudela@gmail.com

Silvana Martins Ferreira

Mestranda em Modelagem Matemática e Computacional/PPGMMC

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

silvanaufrrj@hotmail.com

RESUMO

Desde a década de 80, até os dias atuais, houve um grande progresso nas pesquisas no que tange ao diagnóstico, tratamento e controle da Aids, porém essa doença ainda atinge a população brasileira, com intensidade. O vírus HIV atua no sistema imunológico, propiciando o surgimento de doenças oportunistas. As terapias antirretrovirais, permitiram com que os pacientes, pudessem manter uma vida saudável por bastante tempo. Porém, algumas pesquisas recentes, têm mostrado que esse vírus, pode ser responsável por um envelhecimento precoce das pessoas contaminadas, fazendo com que o caráter degenerativo da doença, seja amplamente discutido. Assim como os estudiosos da área da saúde, vêm pesquisando sobre como conter essa síndrome de uma forma mais eficaz, os matemáticos, têm desenvolvido alguns modelos epidemiológicos, formados por sistemas de equações diferenciais ordinárias não lineares. Portanto, a modelagem matemática tem sido uma ferramenta importante em Epidemiologia. A base dos nossos estudos de evolução da Aids, se inicia com um sistema, representativo do modelo SI, construído para a cidade de Manaus, capital do Amazonas, entre 2009 e 2014. Para isso, realizamos um levantamento bibliográfico, sobre os modelos básicos SI, SIS, SIR, SIRS e SIRV, analisamos os critérios para a estabilidade dos pontos críticos, além de observarmos o comportamento dos gráficos gerados pelas evoluções temporais, construídos no software Octave. Com isso, nos tornamos capazes de fazer algumas previsões sobre a quantidade de infectados, suscetíveis, ou ainda, quantos seriam os recuperados ou vacinados, neste processo de evolução. Partiremos do modelo mais simples, onde não existe uma forma de recuperação, até a conclusão dos estudos com o modelo pós-vacinação.

Palavras-chave: Modelagens HIV. Evolução Temporal da Aids. Modelagens de Evolução para Aids. Evolução HIV. Modelos Básicos para a evolução da Aids.



1 INTRODUÇÃO

Diversos pesquisadores estão usando modelos matemáticos para analisar o comportamento do vírus HIV. Uma ferramenta que auxilia esse estudo é a modelagem matemática. A modelagem é uma etapa fundamental nesse processo de investigação, pois permite uma melhor compreensão e análise da situação gerada pela disseminação dessa doença infecciosa. A dinâmica entre os compartimentos é estudada pelos pesquisadores, que possuem uma missão importante para a Epidemiologia, que consiste em fazer previsões, acerca da evolução dessa e de outras doenças, a partir dos gráficos e dados numéricos. A transferência contínua entre esses grupos de indivíduos organizados em compartimentos, pode representar algo extremamente benéfico ou muito prejudicial à saúde.

A Aids é representada por um modelo denominado SI, onde só existem indivíduos suscetíveis e infectados, portanto há apenas dois compartimentos S e I. A evolução temporal deste modelo, irá nos mostrar que depois de um período, todos os suscetíveis, ou seja, todos os indivíduos que mantêm algum tipo de relação íntima com os infectados, se tornam contaminados. Considere como relações íntimas, as relações sexuais desprotegidas, a utilização de seringas contaminadas, transfusão de sangue, instrumentos invasivos não esterilizados, de mãe para filho durante a gravidez e amamentação (LOPES e PRATA, 2019).

Ainda que desde a identificação do primeiro caso da Síndrome da Imunodeficiência Adquirida (AIDS) no início da década de 80 muito se tenha progredido em relação ao diagnóstico, tratamento e vigilância, a doença ainda se destaca entre enfermidades infecciosas importantes pela magnitude e extensão de danos causados à população global. (BECK, 2014, p.13).

A modelagem matemática em Epidemiologia, de acordo com Quadros (2013), é desenvolvida através do estudo de equações que descrevem a interação entre a população de uma região e o ambiente em que ela vive, resultando numa análise detalhada a respeito da doença. A importância desse estudo se dá ao fato de que quanto mais se conhece a respeito da doença e o modo como ela se propaga, mais eficazes serão os métodos para impedir sua transmissão, e até mesmo o estudo de ações preventivas, como por exemplo, campanhas de vacinação.

Segundo a ONU (2018 apud LOPES e PRATA, 2019, p. 70), no Brasil, o Amazonas aparece em terceiro lugar no ranking dos estados brasileiros com um dos maiores casos confirmados de HIV. E Manaus ocupa a quarta posição na lista das capitais brasileiras com os maiores números de infectados pelo vírus. Segundo o Ministério da Saúde (2019 apud LOPES e PRATA, 2019, p. 69), os vírus HIV atacam as células fundamentais para a imunidade do corpo humano. O vírus é capaz de alterar o DNA das células linfócitos T CD4+ e fazer cópias de si mesmo. Depois de se multiplicar, rompe os linfócitos em busca de outros para continuar a infecção. De acordo com o Boletim Epidemiológico HIV/AIDS 2013 vivem no Brasil, hoje, cerca de 720 mil pessoas infectadas pelo vírus HIV (vírus da imunodeficiência humana), sendo que apenas 436 mil mantém vínculo a algum serviço de saúde.

De acordo com Beck (2014, p.50), “a contagem de células CD4+ é utilizada como parâmetro imunológico a fim de avaliar a progressão da doença e/ou a efetividade da terapia antirretroviral, além de ser um preditor importante do risco de desenvolver infecções oportunistas e da mortalidade por AIDS”.

A aids é o agravamento da infecção pelo HIV, marcado por grande comprometimento do sistema imunológico do paciente, propiciando o surgimento de doenças oportunistas causadas por vírus, bactérias, protozoários, fungos e neoplasias. Devido aos avanços nas terapias antirretrovirais, pacientes que vivem com o HIV podem se manter saudáveis por muitos anos. Porém estudos recentes têm mostrado que a infecção pelo vírus HIV inicia um processo de envelhecimento mais acelerado em comparação com pessoas saudáveis, de modo que hoje já se discute o caráter degenerativo da doença. Um fator que possivelmente contribui para esse processo é a resposta celular somada à idade do indivíduo – que ocorre prematuramente, em resposta ao estresse – e suas relações com comorbidades e terapias antirretrovirais. (CAMPANY.et.al, 2021, p. 375).

Em face do atual cenário, este estudo relacionado a Aids em Manaus, torna-se relevante, pois propõe modelos iniciais mais simplificados, avançando para um modelo mais complexo, resultante da possibilidade futura de vacinação.

As medidas de controle tal como a vacinação, é uma maneira para controlar a transmissão de doenças? Ao diminuir o número de suscetíveis, imunizando-os, teremos por consequência a diminuição da incidência da doença? (VIEIRA, 2016). Acreditamos que sim, pois quando analisamos as evoluções temporais do modelo SIRV, percebemos que com a vacinação, reduzimos a possibilidade de suscetíveis se contaminarem, com isso, evitamos o crescimento dos infectados.

Para iniciarmos a nossa proposta de evolução, apresentamos a formulação do modelo mais simples, avançando progressivamente para modelos mais complexos, até alcançarmos o modelo SIRV. O que estamos propondo neste artigo, é uma proposta de introdução de uma vacina para a Aids, ou então, uma outra forma de tratamento, além dos medicamentos antirretrovirais que atenuam os efeitos da doença, porém não permitem que o paciente se recupere, adquirindo imunidade, ou ao menos que retorne à situação inicial de suscetibilidade à doença.

2 MODELO SI

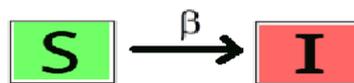
Iniciamos nossa evolução, partindo da situação-problema da Aids em Manaus entre os anos de 2009 e 2014, representada pelo modelo SI, que é o modelo epidêmico mais simplificado, pois em uma população com N habitantes, temos apenas indivíduos suscetíveis S e infecciosos I onde $S+I=N$, no instante t considerado. Desta forma, um indivíduo infectado com uma doença contagiosa é introduzido em uma população de suscetíveis e, um suscetível, uma vez infectado, torna-se infeccioso. De acordo com Teles (2020), os modelos epidemiológicos, representados por compartimentos S, I são ferramentas matemáticas poderosas para a dinâmica de sistemas complexos e suas interações. Esses sistemas têm

importantes aplicações em diferentes áreas científicas e são fundamentais para a tomada de decisões na área da saúde pública e da pesquisa biomédica.

Os índices de infectados do HIV em todo o Brasil são motivos de grande preocupação, principalmente nos âmbitos estruturais e de saúde. Sabemos que a região norte é uma das que mais sofrem com a falta de serviços públicos de saúde, assim, um estudo epidemiológico nesta região é de suma importância devido a carência da população. (LOPES e PRATA, 2019, p. 72).

A taxa de contágio β representa uma porcentagem proporcional a esses encontros entre suscetíveis e infecciosos. De acordo com Lopes e Prata (2019), havia inicialmente, 0,036% da população de Manaus infectada, enquanto 99,964% estavam suscetíveis, além disso, a taxa de contágio obtida foi de 0,1454. Segundo Quadros (2013, p. 24), “neste modelo não há recuperado e todos na população ou são suscetíveis para a doença ou infectados. Um indivíduo infeccioso, uma vez infectado, nunca se recupera da doença”.

Figura 1: Diagrama compartimental que representa o modelo SI



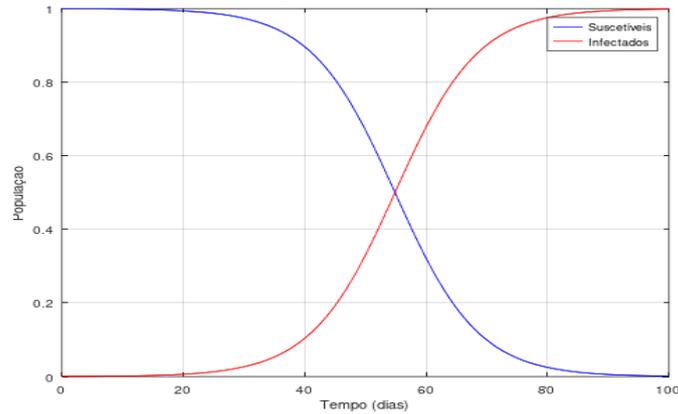
Fonte: Autora

Podemos descrever as equações do sistema diferencial (Equação (1)) do modelo SI, a partir dos dois compartimentos S e I (Figura 1). Esse é o sistema mais simplificado em nossa evolução.

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\beta \cdot S \cdot I \\ \frac{dI}{dt} = \beta \cdot S \cdot I \end{cases} \quad (1)$$

O algoritmo utilizado no Software Octave, para a construção da evolução temporal da Aids em Manaus, considera essa variação para o cálculo das iterações. Após 80 dias, ou seja, depois da octingentésima iteração, a população de suscetíveis diminui progressivamente, até passar a inexistir. Com isso, a população de Manaus, com algum tipo de contato com infectados, torna-se infectada, passando a causar infecções em outros indivíduos suscetíveis, como podemos observar na Figura (2).

Figura 2: Evolução temporal da Aids em Manaus- modelo SI



Fonte: Autora

2.1 MODELO SIS

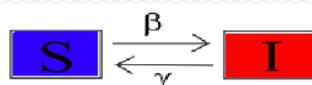
Agora, imagine se no caso da Aids, houvesse uma possibilidade de recuperação γ para os indivíduos infectados, e estes voltassem a ser suscetíveis. Isso, por enquanto, não é verdade, trata-se apenas de uma suposição. Teríamos, neste caso, uma representação do modelo SIS ao invés do SI, cujo sistema está representado na Equação (2).

Perceba que apareceu o termo referente à taxa de recuperação, isso faz com que indivíduos sejam transferidos do compartimento I para o compartimento S.

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\beta \cdot S \cdot I + \gamma \cdot I \\ \frac{dI}{dt} = \beta \cdot S \cdot I - \gamma \cdot I. \end{cases} \quad (2)$$

No modelo SIS, após um período, os indivíduos infectados se recuperam e tornam-se saudáveis, voltando ao grupo de suscetíveis, o que não acontece no modelo SI. Segundo Luiz (2012, p.31), “os indivíduos infectados, ao se recuperarem, não adquirem imunidade e retornam à classe de suscetíveis”. Portanto, quando há a possibilidade de recuperação, mas sem imunidade, temos o modelo denominado SIS (Figura (3)).

Figura 3: Diagrama compartimental que representa o modelo SIS

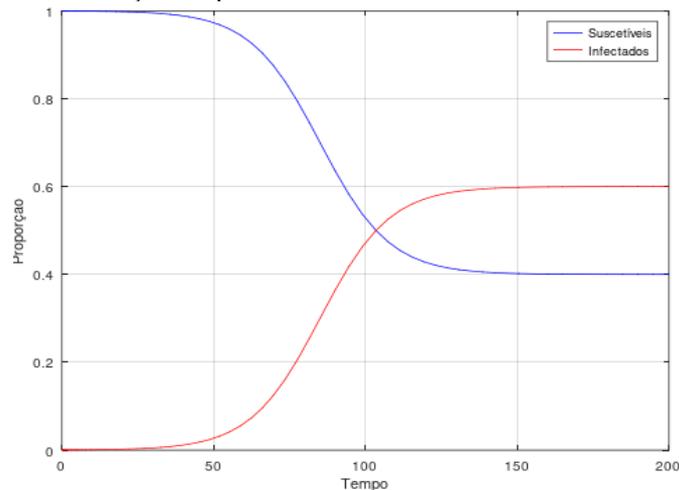


Fonte: Autora

Porém se tomarmos a razão entre a taxa de contágio $\beta = 0.1454$ e $\gamma = 0.05816$, obtemos o número de reprodução básico.

Ele representa um valor médio de casos gerados por um único infectado em uma população suscetível. Como $R_0 = 2.5$, há um crescimento da doença, já que $R_0 > 1$.

Figura 4: Evolução temporal da Aids Idealizada em Manaus- modelo SIS

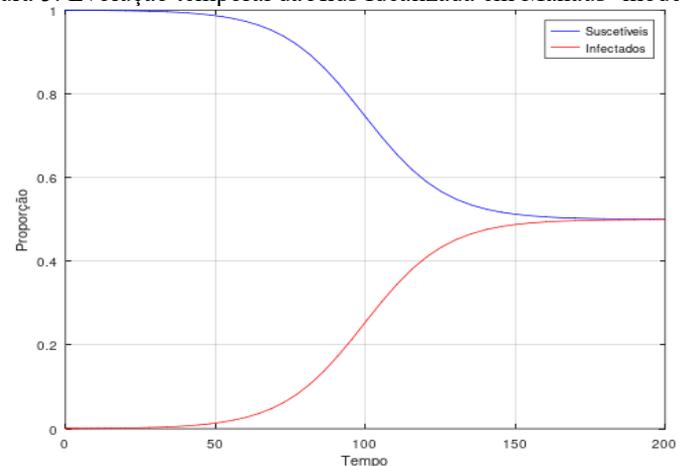


Fonte: Autora

É fácil perceber que após 100 dias, ou seja, após a milésima iteração, os infectados passam a assumir valores superiores aos de suscetíveis. Essa mudança de modelo do SI para o SIS, significaria no caso da taxa de recuperação escolhida, uma estabilização da quantidade de infectados para 60% da população, onde os 40% restantes estariam suscetíveis, após 150 dias, ao invés da população inteira, tornar-se contaminada em 80 dias, como no modelo SI. Há um decrescimento dos suscetíveis e um crescimento dos infectados, até a situação ser estabilizada. Veja Figura (4).

Quanto menor for o R_0 , essa porcentagem de estabilidade, tende a diminuir. Por exemplo, se a taxa de recuperação γ sofrer um aumento e passar a ser igual a 0.0727, o coeficiente R_0 , torna-se igual a 2, com isso, as curvas dos infectados e suscetíveis atingem uma porcentagem estabilizante em torno de 50%, como observado na Figura (5). O que significa que, quanto maior for a taxa de recuperação γ , menor será a porcentagem de infectados que se manterá constante em futuras iterações.

Figura 5: Evolução temporal da Aids Idealizada em Manaus- modelo SIS



Fonte: Autora

2.2 MODELO SIR

Neste mesmo contexto, e se começássemos a imaginar, que existe uma recuperação, através de algum tipo de tratamento, onde o indivíduo recuperado, não volte a ser suscetível. Teríamos então o modelo SIR, para uma Aids Idealizada. Considerando as mesmas taxas $\beta = 0.1454$ e $\gamma = 0.05816$ do SIS, vamos dar mais um passo em nossa evolução. No modelo SIR, de acordo com Luiz (2012), a população é formada por pessoas suscetíveis que contraem a doença infecciosa, tornando-se infectados, e após um período, adquirem imunidade, mas não são considerados períodos latentes nem isolamentos. Perceba que ainda não estamos tratando de nenhuma forma de vacinação. Veja Figura (6).

Figura 6: Diagrama compartimental que representa o modelo SIR



Fonte: Autora

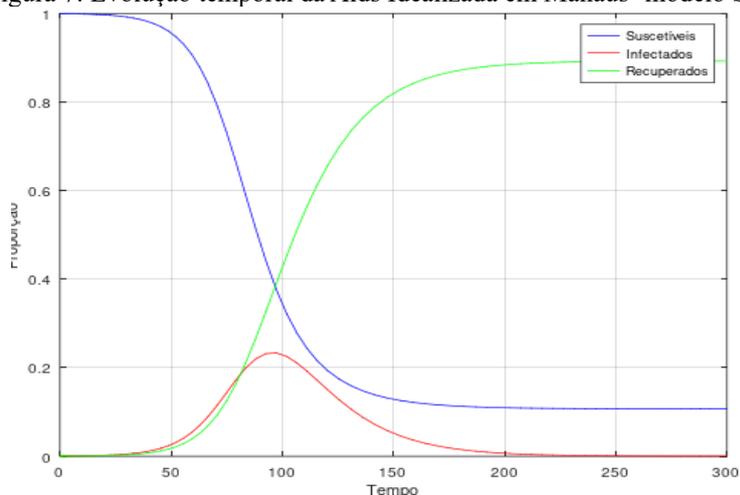
Com isso, uma parcela dos infectados, passa a pertencer à classe dos recuperados. Este modelo é diferente dos modelos estudados anteriormente, pois existe a possibilidade de recuperação, ocorrendo a imunização de alguns indivíduos.

O sistema de equações diferenciais (3), representa este modelo.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dS}{dt} = -\beta \cdot S \cdot I \\ \frac{dI}{dt} = \beta \cdot S \cdot I - \gamma \cdot I \\ \frac{dR}{dt} = \gamma \cdot I. \end{array} \right. \quad (3)$$

O que propomos é uma simulação de algo irreal, pelo menos, até a elaboração deste artigo, onde uma parcela dos infectados, se recupera e deixa esta categoria, passando para o grupo dos recuperados. Isso pode acontecer, devido a algum tratamento que cure o doente, e este não volte a ser vulnerável. Este tipo de descoberta, também seria um grande avanço para a sociedade.

Figura 7: Evolução temporal da Aids Idealizada em Manaus- modelo SIR



Fonte: Autora

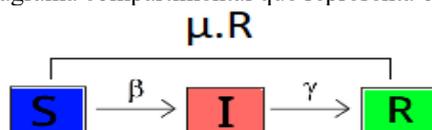
Nas iterações iniciais, temos um crescimento dos infectados, o que provoca um aumento dos recuperados e uma diminuição dos suscetíveis. Neste caso, a porcentagem de infectados, atinge um pouco mais de 20%, em seu valor máximo. Verificamos que na iteração de número 959, ou seja, em 96 dias, temos a máxima parcela de infectados encontrada. Após 200 dias, a população de infectados desaparece, pois irão integrar o grupo dos recuperados. Esse grupo dos removidos cresce até atingir, aproximadamente, 89% da população. Já uma parcela de 11%, aproximadamente, mantém-se suscetível após 150 dias. Veja Figura (7).

Perceba que começamos num modelo SI, onde toda a população, tornava-se infectada, migramos para um modelo SIS, em que a porcentagem de infectados, apesar de poder indicar uma situação grave, estabilizava-se, em uma porcentagem inferior a 100%, depois de alguns dias, e agora, no modelo SIR, a parcela máxima de infectados, consegue ser inferior com relação ao modelo SIS, e após alguns dias, a população infectada é extinta. Com isso, prosseguimos em nossa evolução.

2.3 MODELO SIRS

Passando para uma próxima modificação, consideremos que depois de inseridos na classe dos recuperados, os indivíduos voltem a ser suscetíveis. O que estamos tratando a partir de agora, refere-se ao modelo SIRS, Figura (8). O sistema diferencial está representado na Equação (4).

Figura 8: Diagrama compartimental que representa o modelo SIRS



Fonte: Autora

Usando os dados já utilizados inicialmente, tomemos uma taxa μ para perda de imunidade, muito próxima ou igual a zero, com isso, teremos a evolução temporal já apresentada anteriormente,

ou seja, teremos o modelo SIR. O que significa, que temos que tomar valores para μ mais próximos de 1.

Agora, se o indivíduo infectado consegue se recuperar, adquirindo imunidade e após um intervalo de tempo, volta a ser suscetível, ou seja, torna-se novamente vulnerável à doença, podemos imaginar que no SIRS haverá um retrocesso, piorando a situação obtida com o SIR.

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\beta \cdot S \cdot I + \mu \cdot R \\ \frac{dI}{dt} = \beta \cdot S \cdot I - \gamma \cdot I \\ \frac{dR}{dt} = \gamma \cdot I - \mu \cdot R. \end{cases} \quad (4)$$

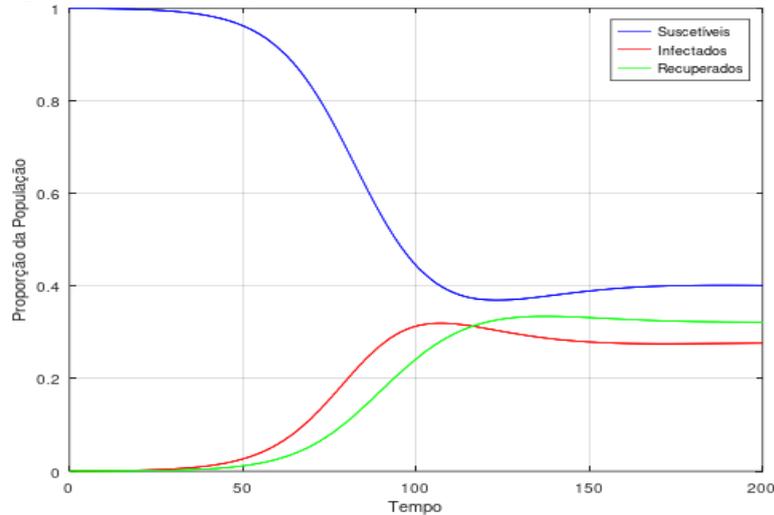
Segundo Luiz (2012, p.40), “neste modelo há indivíduos suscetíveis que adquirem a doença, tornando-se infectados e, após a recuperação, não adquirem imunidade, tornando-se suscetíveis novamente”.

Como citado acima, a grande diferença entre SIRS e SIR é que, para SIRS, um indivíduo pode perder sua imunidade após a cura da doença, como no caso de tuberculose e malária. Essa nova característica de reinfecção pode ocorrer de dois modos: ou o indivíduo infectado, ao curar-se, vai direto ao grupo dos suscetíveis, ou o indivíduo infectado, ao curar-se, vai para o grupo dos recuperados, sendo que uma parte deste grupo volta a ser suscetível (modelo SIRS). (VIEIRA, 2016, p. 29).

Vamos assumir uma taxa $\mu = 0.99$, na intenção de analisar o modelo SIRS, com isso, obtemos um gráfico, referente ao modelo SIS, porém contendo a curva dos recuperados com valores muito pequenos. O que significa que, se a taxa de perda de imunidade, estiver muito próxima de zero, obtemos o modelo SIR e se estiver muito próxima de 1, retornaremos ao modelo SIS.

Se tomarmos $\mu = 0.05$, podemos perceber, analisando a evolução temporal, com $\gamma = 0.05816$ e usando a mesma taxa de contágio $\beta = 0.1454$, que os suscetíveis decrescem, atingindo um ponto mínimo de 37%, aproximadamente, e depois voltarão a crescer, estabilizando-se em 40%. Já os infectados crescem, atingem um ponto máximo de 32%, aproximadamente, e depois se estabilizam em 28%. Os recuperados crescem e ultrapassam os infectados entre 113 e 120 dias, estabilizando-se em 32%, aproximadamente, como pode ser observado na Figura (9).

Figura 9: Evolução temporal da Aids Idealizada em Manaus- modelo SIRS

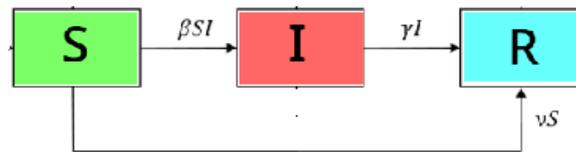


Fonte: Autora

2.4 MODELO SIRV

Para completar o processo de evolução dos modelos epidemiológicos, para a Aids Idealizada, precisamos considerar que existe uma vacina, capaz de imunizar os suscetíveis. Assim, uma parcela desses indivíduos, serão imunizados, fazendo com que nenhum deles, após terem sido vacinados, desenvolvam a doença. Por esta razão, precisamos de uma vacina segura e eficaz. Veja Figura (10).

Figura 10: Diagrama compartimental que representa o modelo SIRV.



Fonte: Autora

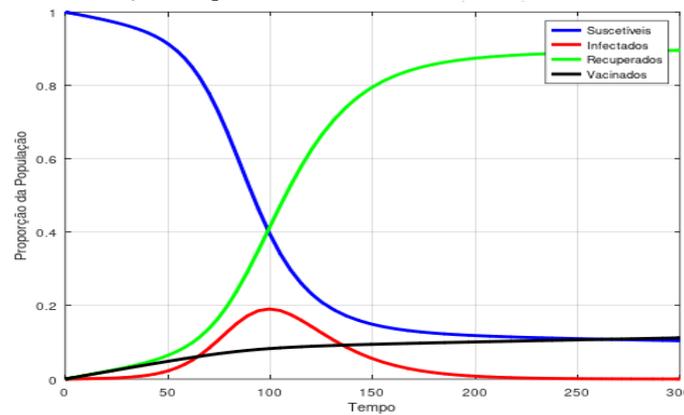
Se considerarmos valores muito próximos ou iguais a zero, para a taxa de vacinação v , retornaremos para a evolução temporal do modelo SIR. Observe o sistema de equações diferenciais representativo do modelo SIRV na Equação (5).

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\beta \cdot S \cdot I - v \cdot S \\ \frac{dI}{dt} = \beta \cdot S \cdot I - \gamma \cdot I \\ \frac{dR}{dt} = \gamma \cdot I + v \cdot S. \end{cases} \quad (5)$$

Vamos supor que a taxa de vacinação, seja igual a 0.001, ou seja, temos 0.1% dos suscetíveis, recebendo a vacina, e 99.9%, os que não serão vacinados. Devido a vários fatores, suscetíveis podem evitar a vacinação. Com base na desigualdade em que a quantidade de suscetíveis inicial é maior que a razão entre a taxa de recuperação e de contágio, é que podemos determinar se a doença se propaga

ou não entre a população. Nesse caso, $0.99964 > 0.4$, com isso, a doença se dissemina entre a população. Com a intervenção da vacina, temos $0,999.S < 0.4$, o que significa $S < 0.4$, o que faz com que os infectados comecem a decrescer na iteração onde os suscetíveis assumem um valor inferior a 0.4. Veja Figura (11). Essa análise é de extrema importância quando se trata desse modelo.

Figura 11: Evolução temporal da Aids Idealizada em Manaus- modelo SIRV

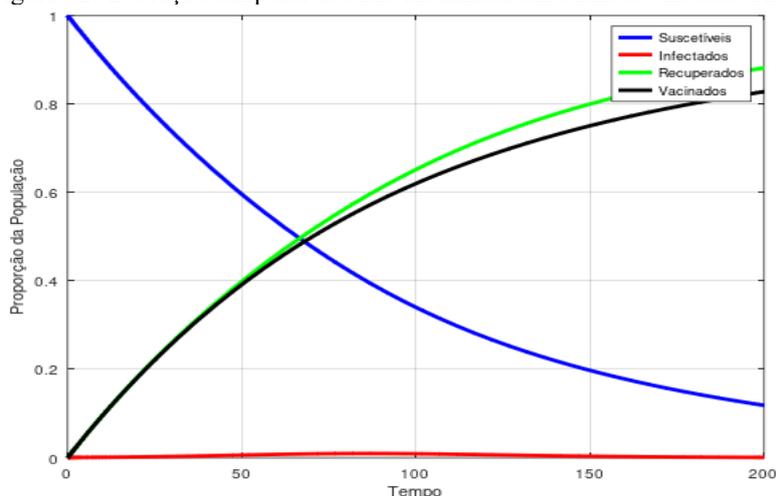


Fonte: Autora

Quando os suscetíveis atingem a porcentagem de aproximadamente, 40%, os infectados atingem o ponto máximo de aproximadamente, 19% e começam a decrescer, até inexistir. Os recuperados se igualam aos suscetíveis e em seguida, ultrapassam. Nas iterações de número 2496 a 2500, os vacinados crescem e estabilizam-se em 11%, aproximadamente, assim como os suscetíveis, que decrescem e estabilizam-se na mesma faixa. Já os recuperados estabilizam-se em 89%, aproximadamente.

Podemos verificar, observando as evoluções temporais (Figura (12)), que à medida que a taxa de vacinação aumenta, a máxima quantidade de infectados vai diminuindo, até não existir mais nenhum infectado e a curva vermelha fixar-se sobre o eixo das abscissas. Vamos tomar uma taxa de vacinação igual a 0.01.

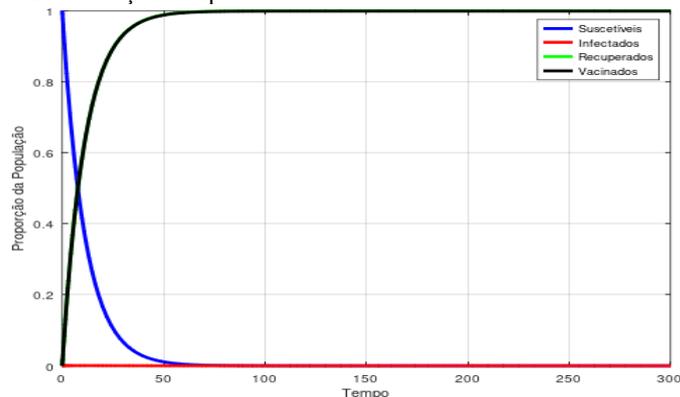
Figura 12: Evolução temporal da Aids Idealizada em Manaus- modelo SIRV



Fonte: Autora

Agora, vamos imaginar que 9% dos suscetíveis e recuperados foram vacinados. Temos que a porcentagem de não vacinados é igual a 91%, portanto, $S < 0.44$, aproximadamente. Por este motivo, a intervenção é realizada no início e não há nenhum crescimento dos infectados. Após 50 dias, toda a população está vacinada e não existem mais indivíduos suscetíveis.

Figura 13: Evolução temporal da Aids Idealizada em Manaus- modelo SIRV



Fonte: Autora

Portanto, nesta última simulação da evolução, para o modelo SIRV, a doença se dissemina entre a população. Porém, na iteração em que a quantidade de suscetíveis, for menor ou igual a razão entre as taxas de recuperação e contágio, dividida pela parcela de não vacinados, os infectados começam a decrescer até desaparecer. Para isso acontecer mais rapidamente, a parcela de não vacinados, precisa ser a menor possível. Portanto, espera-se que a taxa de vacinação, esteja próxima ou seja igual a 1, o que significará que a maior parte ou a totalidade da população já está vacinada, com isso, a quantidade de infectados irá decrescer, o mais rápido possível. Veja Figura (13).

3 RESULTADOS

Em nossa evolução para a Aids em Manaus, começamos a analisar a realidade, onde todos os suscetíveis se tornam infectados com o passar do tempo. Ao aumentarmos a taxa de contágio β , pudemos perceber que a contaminação de toda a população ocorria mais rapidamente. Além disso, observamos que, enquanto a quantidade de infectados aumentava até se estabilizar em 100%, quando atingia toda a população, os suscetíveis diminuía até inexistir. Quando introduzimos uma taxa de recuperação, vimos que essa estabilização dos infectados, passava a envolver apenas uma parcela da população, e quanto maior fosse essa taxa, essa parcela começava a diminuir. Com isso, os suscetíveis decresciam, porém continuavam a existir, se estabilizando, e podendo até superar a quantidade de infectados. A partir do modelo SIS, surge o coeficiente R_0 , que irá atuar como um indicador, que alguma providência deve ser executada para conter a disseminação.

Agora, quando consideramos que a taxa de recuperação, tornava uma parcela dos infectados imunizada, conseguimos diminuir, ainda mais, a quantidade de infectados, pois apesar da possibilidade de crescimento dessa classe, atingiam uma porcentagem máxima e começavam a decrescer, até inexistir. Através dessa modificação, houve o aparecimento da categoria dos recuperados, onde os antigos infectados passam a ser imunes. Além disso, quanto maior for a taxa de recuperação, menor será a parcela máxima de infectados. Já quando consideramos que essa imunização tinha uma duração limitada, pioramos a situação obtida com o modelo SIR, pois diminuimos a quantidade de recuperados e aumentamos os infectados e suscetíveis.

Para concluirmos a evolução, introduzimos uma vacinação, que conseguiu retornar à situação obtida com o modelo SIR, provocando uma diminuição na quantidade máxima de infectados. Temos então, com o modelo SIRV, uma nova categoria, a dos vacinados. Observamos que, quanto maior for a taxa de vacinados, menos infectados teremos, já que mais suscetíveis serão vacinados. Para isso acontecer mais rapidamente, a parcela de não vacinados, precisa ser a menor possível. Com isso, pode ser que não haja nenhum infectado. Portanto, espera-se que a taxa de vacinação, esteja sempre próxima ou seja igual a 1, para o caso da Aids Idealizada.

4 DESAFIOS NA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA VACINA

Tendo em vista o propósito deste artigo, ressaltamos o fato de que precisamos de vacinas, que possam ser produzidas e distribuídas em todo o Brasil. Apesar de existirem os tratamentos antirretrovirais, o que permite com que os infectados tenham uma vida saudável, muitos pesquisadores e empresas de tecnologia médica, trabalham incessantemente em busca de um imunizante, que possa trazer segurança e seja eficaz no tratamento e recuperação desses indivíduos. Porém, existem registros de diversas tentativas frustradas de busca por essa vacina. Portanto, a obtenção de uma vacina que imunize a população, ainda constitui um grande desafio.



Os desafios que dificultam a criação e utilização do imunizante em larga escala envolvem a variabilidade genética do vírus, já que, atualmente, o HIV tipo 1 (HIV 1), principal causador da aids, é subdividido em três grupos. O HIV-2 está associado a infecções no Centro-Oeste da África e na Europa. (CECCON. et.al, 2024, p.1).

Todas as pessoas diagnosticadas com HIV, devem iniciar imediatamente o tratamento com antirretrovirais. Assim, o vírus ficará impedido de se replicar dentro da célula, o que impedirá a diminuição na imunidade e o agravamento dos sintomas. Só que esse tratamento, após décadas de epidemias, já não é mais suficiente.

Segundo Turan et.al. (2016 apud CECCON et.al, 2024, p. 3), pesquisas científicas sobre a vacina contra a aids encontram-se em andamento em diferentes países, mas a maioria é voltada à perspectiva clínica e biomédica, gerando lacunas na produção do conhecimento sobre a perspectiva ética, política e social. Assim, embora seja uma medida de interesse coletivo, o tema é pouco debatido publicamente, o que dificulta a participação social e o tensionamento para transformar essa pauta em interesse político. Esse fato pode ser decorrente da estigmatização das pessoas que vivem com HIV, fazendo com que suas demandas não interessem à sociedade, sendo silenciadas nos veículos de comunicação que compõem a mídia brasileira.

Precisamos adotar uma perspectiva crítica com relação a real necessidade de uma vacina, mesmo que façamos parte do grupo dos suscetíveis, entendendo que os cientistas utilizam termos técnicos e biomédicos, que muitos não conseguirão compreender, porém todos temos uma linguagem universal, que é o entendimento sobre a importância da criação e implementação de uma vacina, que possa ser amplamente disponibilizada a toda a população.

A aids, após quatro décadas do início da epidemia, ainda é um importante problema de saúde pública no Brasil, com elevadas taxas de incidência e de mortalidade. As estratégias de prevenção centram-se no preservativo e na profilaxia pré- e pós-exposição, não tendo sido implementada vacinas até o momento. Foi evidenciada pouca comunicação midiática sobre a vacina contra a aids, configurando-se como um tema negligenciado e pouco explorado no debate público. Os discursos midiáticos apontaram comunicação de difícil compreensão, com terminologias biomédicas; focaram nas impossibilidades das pesquisas científicas na descoberta de vacinas; e retrataram os pesquisados como “cobaias”, metáfora que nomina grupos vulnerabilizáveis a experimentos medicamentosos, o que reforça a discriminação e o preconceito. Os discursos apontam a necessidade do debate público sobre a vacina contra a aids, e a mídia brasileira possui papel estratégico no estímulo à produção de imunobiológicos. (CECCON. et.al, 2024, p.1).

Caso seja necessária a realização de testes em humanos, que isso seja feito com total responsabilidade, não transformando esses sujeitos em “cobaias”, já que muitos deles, podem fazer parte de grupos vulnerabilizados e capazes de colaborar com testes de medicamentos, reforçando a descriminalização e o preconceito. A vacina contra a aids, é uma importante estratégia para a epidemia do HIV, portanto deve ser amplamente discutida na sociedade brasileira.



5 CONCLUSÃO

A modelagem matemática desempenha um papel crucial na compreensão dos dados e previsão da evolução, ao longo do tempo, de doenças infecciosas, assim como a Aids. Por meio da modelagem, é possível, criar uma visão clara e organizada de situações no presente ou no futuro, causadas pelas doenças, o que facilita a compreensão e a análise das informações. Os modelos utilizam sistemas de equações diferenciais ordinárias não lineares, para descrever a dinâmica da propagação. Esses modelos ajudam a estimar o número de casos, por período e a avaliar estratégias de controle.

O que se espera com este artigo é a construção de uma proposta para evolução da Aids, utilizando algumas das modelagens básicas, que estão sendo aplicadas no estudo de algumas doenças. Esses estudos, tornam-se essenciais na tentativa de prever cenários, analisando uma suposta evolução para essa doença, o que permitiria que o modelo SI fosse substituído por um novo modelo, onde os infectados não representassem toda a população. Por isso, desejamos que novos tratamentos e vacinas para a Aids, sejam testados e futuramente possam ser implementados, beneficiando a população brasileira e mundial, que almeja por investigações e estudos.

Além disso, buscamos contribuir para a contextualização da Matemática a nível superior, através da utilização de um problema real. Além de despertar a vontade de aprender a modelar, enriquecendo o estado da arte. Essa busca por soluções para situações reais, traz inúmeros benefícios para a sociedade. Espera-se que esses dados, possam contribuir para a reflexão sobre o tema, bem como para a orientação ou direcionamento das ações. Esperamos despertar o desejo de estudar essas e outras modelagens envolvidas, assim como, contribuir com a investigação desses processos.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio em financiar este trabalho.



REFERÊNCIAS

LOPES, Luís Eduardo da Silva.; PRATA, Roberto Antônio Costa. Modelo epidemiológico para a aids em Manaus-AM com a solução interativa fuzzy. *Biomatemática Imecc, Unicamp*, 29, 69-80. 2019.

QUADROS, Alessandra Sena. Modelos epidemiológicos para propagação de informação. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2013.

LUIZ, Mônica Helena Ribeiro. Modelos matemáticos em epidemiologia. Universidade Estadual Paulista. 2012.

VIEIRA, Aline de Oliveira. Estudo sobre modelos matemáticos aplicados à epidemiologia: modelo SIR, SIR com vacinação e SIRS. IFSP. 2016.

TELES, Pedro. Modelos compartimentais e aplicações. *Revista Ciência Elementar*, v. 8, n. 2. 2020.

BECK, Caroline. Análise de sobrevida e perfil epidemiológico de casos de AIDS em Porto Alegre/RS: limitações e potencialidades da vigilância epidemiológica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2014.

CAMPANY, Luciana Narciso da Silva.et.al. HIV/aids no Brasil: feminização da epidemia em análise. *Revista Bioética, Fundação Oswaldo Cruz e Universidade Estácio de Sá*, v.29, n.2. 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (2019). Aids/HIV: o que é, causas, sintomas, diagnóstico, tratamento e prevenção. URL: <http://portalms.saude.gov.br>.

CECCON, Roger Flores.et.al. Vacina contra a aids na mídia brasileira: análise crítica do discurso. Universidade Federal de Santa Catarina. 2024.

TURAN, Bulent. et al. How does stigma affect people living with HIV? The mediating roles of internalized and anticipated HIV stigma in the effects of perceived community stigma on health and psychosocial outcomes. *AIDS and Behavior*, v. 21, p. 283-291, jun. 2016. URL: <https://doi.org/10.1007/s10461-0161451-5>.