



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO BAIXO TOCANTINS
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
CURSO DE LICENCIATURA PLENA EM MATEMÁTICA**

GERBSON EMANUEL DOS SANTOS FEIO

**MODELAGEM MATEMÁTICA POR AJUSTE NÃO LINEAR SOBRE OS DADOS
DA SARS-COV-2 EM ABAETETUBA-PA**

**ABAETETUBA-PA
2022**

GERBSON EMANUEL DOS SANTOS FEIO

**MODELAGEM MATEMÁTICA POR AJUSTE NÃO LINEAR SOBRE OS DADOS
DA SARS-COV-2 EM ABAETETUBA-PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção do grau de Licenciatura em Matemática, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia, Campus Universitário de Abaetetuba, Universidade Federal do Pará.
Orientador: Prof. Dr. Rômulo Corrêa Lima.

ABAETETUBA-PA

2022

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

F297m Feio, Gerbson Emanuel dos Santos.
Modelagem matemática por ajuste não linear sobre os dados da
sars-cov-2 em Abaetetuba-PA / Gerbson Emanuel dos Santos Feio.
— 2022.
III, 27 f.

Orientador(a): Prof. Dr. Rômulo Corrêa Lima
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal do Pará, Campus Universitário de Abaetetuba, Curso de
Matemática, Abaetetuba, 2022.

1. Modelagem. 2. Sars-cov-2. 3. Regressão. 4. Método dos
mínimos quadrados. 5. Covid-19. I. Título.

CDD 511.8

GERBSON EMANUEL DOS SANTOS FEIO

**MODELAGEM MATEMÁTICA POR AJUSTE NÃO LINEAR SOBRE OS DADOS
DA SARS-COV-2 EM ABAETETUBA-PA**

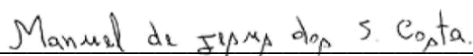
Trabalho de Conclusão de Curso orientado pelo Prof. Dr. Rômulo Correa Lima, apresentado ao curso de Licenciatura Plena em Matemática da Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia, Campus universitário de Abaetetuba da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção de grau de licenciado em Matemática.

Aprovado em: 25 / 02 / 2022.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Rômulo Correa Lima
Orientador – FACET/Campus de Abaetetuba/UFPA



Prof. Dr. Manuel de Jesus dos Santos Costa
Membro – FACET/Campus de Abaetetuba/UFPA



Prof. Dr. José Francisco da Silva Costa
Membro – FADECAM/Campus de Abaetetuba/UFPA

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida em tempos difíceis, por me abençoar e me dar saúde, pelas oportunidades e graças alcançadas, além de me dar força e fé para ultrapassar os obstáculos encontrados durante todos os meus anos de estudo e trabalho.

Aos amigos e familiares, que direta ou indiretamente contribuíram para me ajudar de alguma forma a concluir esta minha jornada acadêmica, seja por alguma palavra de incentivo, pelo apoio nessa minha trajetória e por muitas vezes me levantarem quando eu achei que não fosse conseguir, em especial a minha mãe e ao meu pai, que compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava a produção deste trabalho.

Agradecer também ao meu orientador Rômulo Lima, por todo o apoio e incentivo para realizar a produção deste trabalho, e aos professores que permitiram apresentar um melhor desempenho durante a minha jornada de formação acadêmica e por toda a paciência e dedicação com a qual guiaram o meu aprendizado.

MODELAGEM MATEMÁTICA POR AJUSTE NÃO LINEAR SOBRE OS DADOS DA SARS-COV-2 EM ABAETETUBA-PA

Autor: Gerbson Emanuel dos Santos Feio

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Corrêa Lima

Banca:

RESUMO

Analisando o presente cenário mundial, caracterizado por um dos casos mais graves de saúde pública ocasionada pela Covid-19 (SARS-CoV-2), o presente artigo tem como objetivo reunir dados e informações com base nesta problemática na cidade de Abaetetuba-Pará, e através destas pesquisas poder modelar matematicamente os casos de pessoas infectadas e óbitos desta doença nesta respectiva cidade através de métodos matemáticos (ajuste de curvas por regressão polinomial), que foram obtidos com base na disposição dos dados da doença na população desta região. Tal análise fornecerá subsídios necessários para a obtenção de uma função matemática que caracterize este fenômeno através do método dos mínimos quadrados. O resultado observado através deste estudo possibilitará uma investigação mais profunda acerca do contágio desta doença no povo abaetetubense, bem como fornecer para estes cidadãos um método útil para a observação deste cenário provocado pelo SARS-CoV-2.

Palavras Chave: Covid-19, ajuste de curvas, regressão, método dos mínimos quadrados.

ABSTRACT

The present world scenario, characterized by one of the most serious cases of public health caused by Covid-19 (SARS-CoV-2), this article has analyzed the objective of gathering data and information based on this problem in the city of Abaetetuba-Pará, and through these surveys of cases of infected people and deaths from this region, respectively, can be obtained through mathematical methods (fitting of curvatures by means of polynomial), which were obtained mathematically based on the provision of disease data in the population of this region. Such analysis always offers a function that makes possible the realization of a phenomenon through the method of the several possible characters. The result observed through this study will allow a deeper investigation of the contagion process of this in the Abaetetubense people, as well as provide for these cases a useful method for an observation of this scenario caused by SARS-CoV-2.

Key words: Covid-19, curve fitting, regression, least squares method.

1 INTRODUÇÃO

Define-se vírus como um “agente infeccioso microscópico, responsável por várias doenças contagiosas (aids, gripe, etc)” (RIOS, 2009, p.535). A primeira evidência da existência dos vírus ocorreu em 1892, após uma análise feita pelo cientista russo Dmitri Ivanovski e o botânico holandês Martinus Beijerinck que observaram que um agente menor que uma bactéria causava a doença do mosaico do tabaco (doença que afeta plantas), assim estes agentes foram chamados de vírus, que em latim significa “toxina” ou “veneno” (STEPHEN *et al.*, 2014; PRODOSCIMI; FARIAS, 2020).

Os vírus podem infectar variadas formas de vida desde animais, vegetais e até bactérias. Entretanto, diferente de outros seres vivos como as bactérias, os vírus não possuem estruturas responsáveis pela sua própria reprodução, o qual depende obrigatoriamente de um sistema vivo para isso. Isto ocorre pelo fato dos vírus serem constituídos apenas pelas suas proteínas e ácidos nucleicos. Portanto, após invadir a célula hospedeira, os vírus encontram as condições necessárias para a sua replicação e utilizam as moléculas da célula invadida para copiar seu próprio material genético e produzir novos vírus. Com isso a célula infectada é destruída e com os novos vírus produzidos o ciclo de vida destes seres se repete ao infestar novas células. (UJVARI, 2012; STEPHEN *et al.*, 2014).

Apesar de parecer frágil (tendo em vista a necessidade de outro hospedeiro para concluir seu ciclo de vida) e possuir uma estrutura relativamente simples (comparado a outros seres vivos), tais propriedades dos vírus os tornam bastante perigosos para a sociedade, considerando a sua alta capacidade de replicação (STEPHENS *et al.*, 2009). Deste modo os vírus “merecem uma atenção diferenciada, não só pelo seu maior número e diversidade, mas também pela propriedade de muitos vírus sofrerem mutações e, portanto, gerarem mudanças de comportamento em uma intensidade e velocidade maiores do que bactérias, protozoários ou fungos” (SILVA; ANGERAMI, 2008, p.17).

Em vista disso, vários fatores corroboram para disseminação de doenças causadas pelos vírus, conforme afirma Silva e Angerami:

“Urbanização, crescimento demográfico, alteração de fronteiras e formação de blocos geopolíticos tiveram como consequência grandes obras com impacto não somente sobre o ecossistema – como rodovias, represas e sistemas de irrigação – mas também sobre os padrões de ocorrência e distribuição das doenças infecciosas (SILVA; ANGERAMI, 2008, p.17).”

Assim, as epidemias que antes encontravam-se isoladas em alguns povos foram se disseminando para diferentes civilizações com o advento da globalização, tornando-se pandemias, sendo a mais notável delas o HIV, que é a sigla em inglês para vírus da

imunodeficiência humana que acomete cerca de 40 milhões de pessoas, sendo o continente africano o mais afetado por esta doença (UJVARI, 2012; STEPHEN *et al.*, 2014). Abaixo, temos a relação de vírus descobertos nos últimos 50 anos, conforme mostra o quadro 1:

Quadro 1 – Descoberta de novos vírus por período

Vírus identificados de 1972 a 1989	Calicivírus, Astrovírus, Ebola, Hantavírus, HCV, HHV-6, HIV 1 e 2, HTLV I e HTLV II, Parvovírus B19, Rotavírus.
Vírus identificados de 1990 a 1999	HHV-7, Enterovírus 71, Hantavírus americanos, Hendra, HEV, HFV, HGV, HHV-8 (KSHV), Influenza A H5N1 e H9N1, Nipah, Sabiá, TTV
Vírus identificados de 1999 a 2020	Coronavírus humano (síndrome respiratória aguda grave), Metapneumovírus humano, Bocavírus, Gripe A H1N1, SARS, Gripe aviária, Chicungunya, Zika, influenza H3N2, SARS-CoV-2

Fonte: Adaptado de SILVA; ANGERAMI (2008) p.18-19

Deste modo é notório que diversas variedades de vírus acometem a população mundial desde tempos mais remotos. Todavia, vale ressaltar que os vírus podem infectar tanto células animais quanto vegetais, sendo que estes últimos não apresentam riscos para a população, porém, determinam problemas socioeconômicos significativos, interferindo na disponibilidade de alimentos. No caso de vírus que infectam animais, tem-se um cuidado redobrado, tendo em vista que, dependendo de suas mutações ao longo de sua crescente reprodução celular, estes vírus podem evoluir e infectar seres humanos causando doenças como: HIV, Ebola e o SARS, conforme exemplificado no quadro 1 (SILVA; ANGERAMI, 2008; MARQUES, 2020).

O fenômeno da globalização trouxe eventos como a “urbanização, melhoria das condições de vida, maior acesso ao saneamento e outros determinantes sociais, como pela incorporação de tecnologias como as vacinas, antibióticos e antivirais, e pelo maior acesso aos serviços de saúde” (LUNA; SILVA JR, 2013). Conseqüentemente, devido o acesso à informação e a criação de mecanismos para tratar diversas doenças, pressupõe-se uma baixa nas taxas de mortalidade provocadas por estas enfermidades virais. Ainda assim, atualmente a SARS-CoV-2 (Covid-19) trouxe inúmeras conseqüências mundiais e em razão da sua alta taxa de transmissibilidade e mortalidade, os sistemas globais de saúde entraram em colapso acarretando em uma das mais graves crises de saúde pública mundial, especialmente em países subdesenvolvidos. (VELAVAN *et al.*, 2020).

2 O VÍRUS SARS-CoV-2

“Em 31 de dezembro de 2019, a Organização Mundial da Saúde (OMS) foi alertada sobre vários casos de pneumonia na cidade de Wuhan, província de Hubei, na República Popular da China. Tratava-se de uma nova cepa (tipo) de coronavírus que não havia sido identificada antes em seres humanos” (OPAS, 2020). Sendo este um dos primeiros registros da doença que teve sua origem no mercado de frutos do mar na cidade de Wuhan na China. Presume-se que o vírus SARS-CoV-2 tenha como hospedeiro intermediário certas espécies de morcegos e o pangolim, um animal consumido como alimento na região, o que caracteriza um processo de “transbordamento zoonótico”, ou seja, quando um vírus sofre mutações e começa a infectar seres humanos (SANAR, 2020; WHO, 2020).

O SARS-CoV-2 é um vírus da família dos coronavírus que são grandes vírus de RNA de fita simples que infectam tanto animais quanto humanos. Entretanto, ao infectar humanos causa uma doença chamada Covid-19. A nomenclatura SARS-CoV-2 possui elementos significativos: SARS é uma abreviação de uma síndrome chamada de Severe Acute Respiratory Syndrome (Síndrome Respiratória Aguda Grave), a qual é a forma grave de muitas doenças respiratórias, tendo como principal sintoma a dificuldade de respirar; CoV é a abreviação de coronavírus (família de vírus a qual pertence) e por conseguinte o número 2, em alusão a outra espécie de coronavírus que quase virou uma pandemia em 2002, o SARS-CoV (TOZZI *et al.*, 2021; VELAVAN *et al.*, 2020).

Os infectados por este vírus poderão ser assintomáticos ou apresentarão sintomas leves a moderados. Porém pessoas idosas, imunossuprimidas, com algum tipo de doença crônica ou comorbidades, como: diabetes, hipertensão, obesidade, entre outros, estes são mais propensos a evoluírem para uma forma grave desta doença (WHO, 2021; ARCANJO *et al.*, 2021).

De acordo com a Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS) a Covid-19 tem como sintomas:

“(…) febre, cansaço e tosse seca. Outros sintomas menos comuns e que podem afetar alguns pacientes são: perda de paladar ou olfato, congestão nasal, conjuntivite, dor de garganta, dor de cabeça, dores nos músculos ou juntas, diferentes tipos de erupção cutânea, náusea ou vômito, diarreia, calafrios ou tonturas. (OPAS, 2020).”

Basicamente os sintomas comuns desta doença são relacionados a uma gripe ou resfriado. No entanto, alguns casos podem evoluir para uma pneumonia grave, caracterizada por dificuldades para respirar, trombose vascular e obstrução pulmonar que na maioria dos casos podem deixar sequelas permanentes ou não, principalmente no trato pulmonar dos acometidos por esta doença. Já em quadros mais delicados os sintomas podem se agravar sendo necessário o acompanhamento médico-hospitalar, e em quadros onde o funcionamento

pulmonar é comprometido pode-se levar ao óbito (ARCANJO *et al.*, 2021; FIOCRUZ, 2021).

Como forma de minimizar o contágio por este vírus a Organização mundial de Saúde (OMS) dispõe de várias medidas de prevenção contra a doença, dentre elas o uso de máscaras cirúrgicas, higienização adequada das mãos, manter aproximadamente um metro de distância entre as pessoas, evitar tocar nos olhos, nariz e boca, entre outras medidas para assegurar um risco menor de transmissão da doença entre as pessoas, principalmente nos ambientes de trabalho, visando assim uma diminuição na transmissão da doença e orientar os países quanto ao riscos desta (OPAS, 2020; WHO, 2021).

As altas taxas de transmissibilidade da COVID-19, trouxeram vários efeitos negativos para as economias globais e uma grave crise de saúde pública que se mostra potencializada especialmente em países subdesenvolvidos (CARVALHO, 2020). Que gera efeitos “não apenas de ordem biomédica e epidemiológica em escala global, mas também repercussões e impactos sociais, econômicos, políticos, culturais e históricos sem precedentes na história recente das epidemias” (FIOCRUZ, 2020).

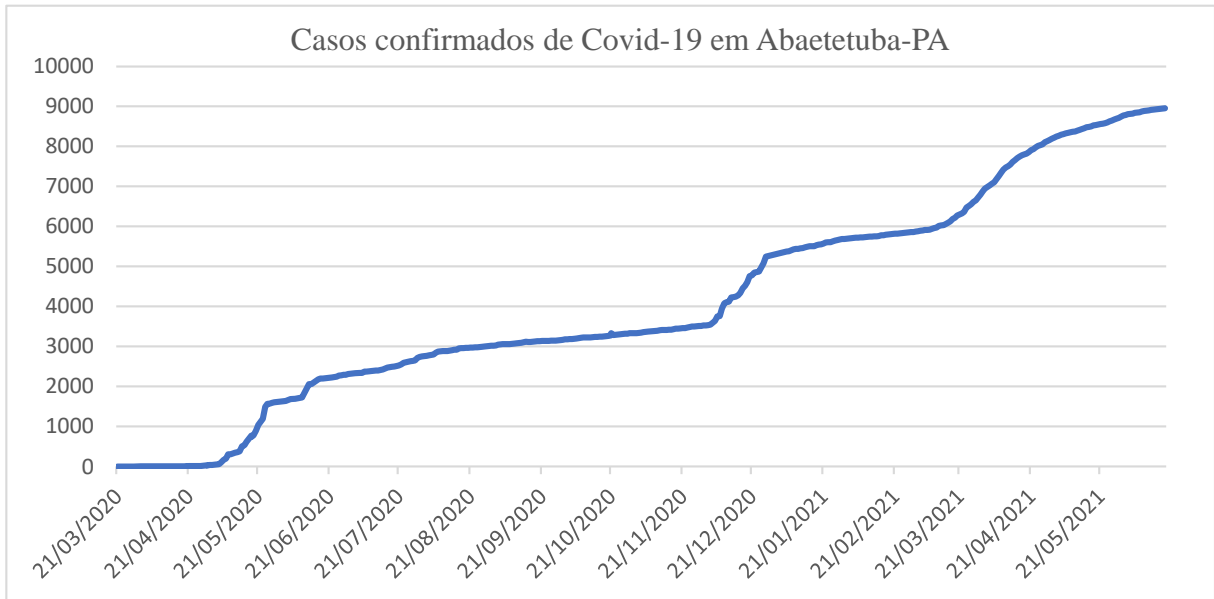
No Brasil, o primeiro caso confirmado foi em 26 de fevereiro de 2020 no estado de São Paulo, posteriormente em 17 de março de 2020, foi confirmada a primeira morte pela doença no Brasil com vários registros de casos suspeitos e confirmados, revelando assim uma iminente progressão da doença na população, o que pressionou a OMS a decretar emergência de saúde pública internacional caracterizando a Covid-19 como uma pandemia mundial em 11 de março de 2020 (CORONAVÍRUS, 2020; SANAR, 2020).

2.1 SARS-CoV-2 em Abaetetuba-PA

Segundo os dados do boletim epidemiológico da SESPA (Secretaria de Estado de Saúde Pública do Pará), o primeiro caso confirmado de Covid-19 no estado ocorreu no dia 18 de março de 2020, 31 dias após o primeiro caso ocorrido no território brasileiro, com o primeiro óbito no dia 19 de março de 2020, onde ao longo do tempo vários casos de contágio e mortes pela doença foram se disseminando em todo o território paraense (SESPA, 2020).

Através da análise realizada no boletim epidemiológico do município de Abaetetuba-Pará, disponível através da plataforma web do site da prefeitura, pode-se inferir que o primeiro caso confirmado de COVID-19 no município, ocorreu no dia 31 de março de 2020, totalizando no dia 18 de junho de 2021, 8951 casos confirmados de Covid-19 no município abaetetubense, conforme ilustrado na figura 1 (ABAETETUBA, 2020).

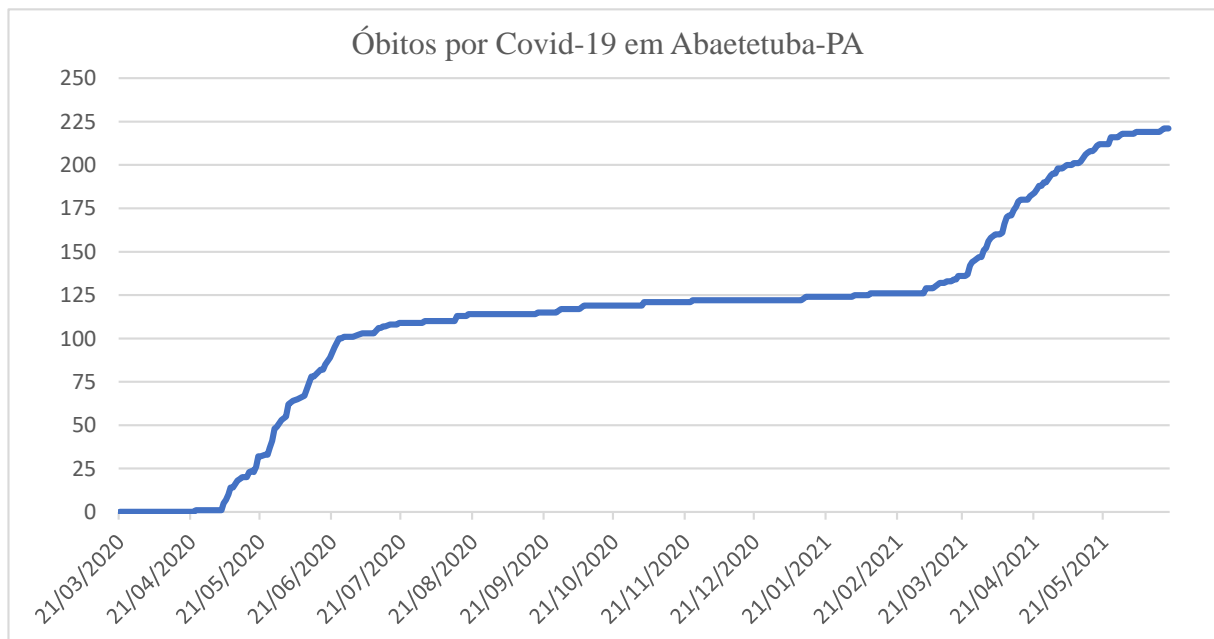
Figura 1 – Progressão de casos confirmados de Covid-19 em Abaetetuba-PA



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

O primeiro registro por morte pela doença na região foi confirmado 24 dias após a primeira morte ocorrida no estado, em 23 de abril de 2020, totalizando, até o dia 18 de junho de 2021, 221 mortes pela doença na região (ABAETETUBA, 2020). Conforme apresentado na figura 2.

Figura 2 – Progressão de óbitos por Covid-19 em Abaetetuba-PA



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

Para o referido artigo, os dados a serem utilizados serão os números de casos

confirmados de pessoas infectadas e de óbitos pela doença na cidade de Abaetetuba, durante o período que data desde o primeiro registro, no dia 23 de abril de 2020, até o dia 18 de junho de 2021.

3 O MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS

O recurso matemático que será utilizado para a análise dos dados epidemiológicos da Covid-19 em Abaetetuba, será o ajuste de curvas. Sobre este método, pode-se afirmar que:

“Relacionar através de um modelo matemático a variável resposta (ou dependente) com o conjunto das variáveis explicativas (ou independentes), pode-se determinar então algum parâmetro, ou mesmo fazer uma previsão acerca do comportamento da variável resposta.” (BARROSO *et al.*, 1987).

Assim, este recurso é comumente utilizado para ajustar curvas a um determinado conjunto de dados, de modo que as técnicas utilizadas para tal são divididas em duas categorias: interpolação e regressão, que são distinguidas entre si com base na quantidade de erro associado aos dados. Sendo a regressão, utilizada usualmente para representar uma função que se ajuste aos conjuntos de dados que possuem um grau significativo de erro ou “ruído” associado, deste modo esta função não necessariamente coincide com os valores tabelados, obtendo assim uma única curva que represente a tendência geral dos dados, além de possibilitar uma extrapolação destes fora do intervalo estudado. Já na interpolação, o objetivo principal é prever valores intermediários para dados muito precisos ou relativamente livres de erros, assim a(s) curva(s) representada(s) neste método obrigatoriamente passará por todos os valores tabelados (CHAPRA; CANALE, 2011).

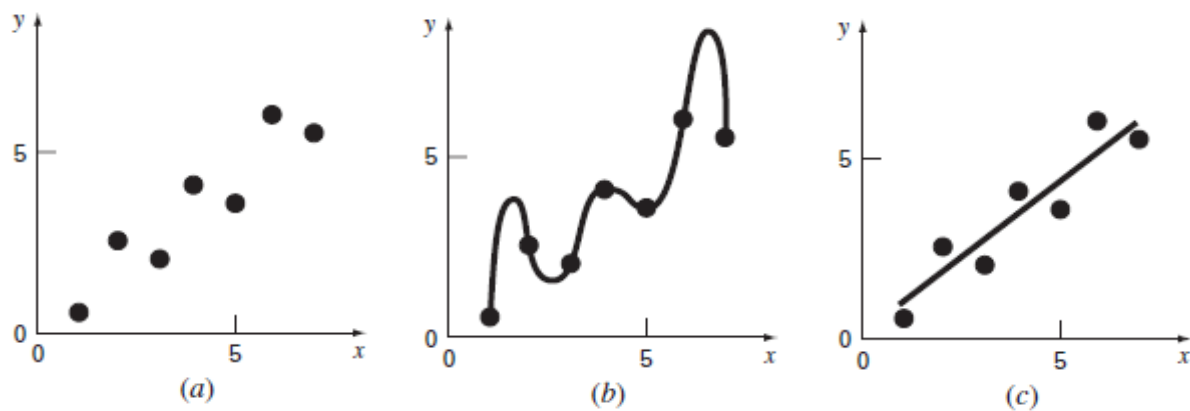
Vale ressaltar que para este trabalho a interpolação não é aconselhável, pois os valores tabelados são fruto de uma pesquisa (dados da Covid-19 em Abaetetuba-PA) que podem conter erros inerentes que em geral não são previsíveis. Desta forma, existe a possibilidade de acomodar estes valores tabelados a uma função que possua uma boa aproximação destes pares ordenados, ou seja um “ajuste” (regressão), e que possa permitir uma extrapolação com certa margem de segurança caso seja necessário (RUGGIERO; LOPES, 2000).

Para tais análises será utilizado alguns recursos computacionais, como o pacote Microsoft Office Excel 2016, que permitirá uma otimização dos cálculos inerentes aos dados tabelados através dos métodos matemáticos aqui aplicados, bem como a visualização dos dados e das curvas de tendências projetadas através dos gráficos que serão produzidos nesta aplicação. Outro recurso essencial para consultar a validação deste método será o Wolfram Alpha, que se trata de uma aplicação fornecida através de uma plataforma online, que possui variadas ferramentas para cálculos e análise de dados.

3.1 Regressão por mínimos quadrados

Em variadas situações obtém-se uma tabela de pontos (x_i, y_i) obtida experimentalmente, na qual deseja-se uma função $y = f(x)$ que melhor se ajuste a estes valores. Desta forma, a regressão por mínimos quadrados é uma das formas de desenvolver um critério para estabelecer uma base para um ajuste de dados, pois trata-se de um método para definir uma curva que reduza a diferença entre os dados tabelados e os pontos da curva, determinando assim uma boa aproximação para os valores. Sendo uma técnica matemática de otimização que tenta minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre o valor estimado e o conjunto de dados observados (RUGGIERO; LOPES, 2000; CHAPRA; CANALE, 2011; FRANCO, 2006).

Figura 3 – Exemplo do método dos mínimos quadrados



Fonte: Adaptado de CHAPRA; CANALE (2011, p. 380).

Conforme ilustrado pela figura 3, temos um exemplo de como a ajuste de curvas pode ser disposto na interpolação e na regressão. Inicialmente no exemplo (a), temos a disposição dos valores tabelados em um gráfico de dispersão, que mostra a disposição geral dos pontos no plano cartesiano. Já no exemplo (b) temos uma interpolação de um polinômio de grau 6 para os dados. Entretanto, apesar da curva passar por todos os pontos, é notório que o ajuste não é adequado, pois a curva oscila entre valores maiores que os dados tabelados (CHAPRA; CANALE, 2011).

No exemplo (c), temos um resultado mais satisfatório e uma estratégia mais adequada usando a regressão linear por mínimos quadrados, pois a reta (ou curva) apresentada segue uma tendência geral dos pontos observados, e também pode ser utilizada para prever valores intermediários com certo grau de erro associado, bem como sua utilização para extrapolar valores além dos limites dos dados verificados de acordo com a tendência geral dos dados (CHAPRA; CANALE, 2011).

3.2 Regressão linear

O método mais simples de aproximação por mínimos quadrados é o ajuste de uma reta a um conjunto de pares de observação. Assim, sejam n pontos $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_i, y_i)$ tal que $i = 1, 2, 3, \dots, n$. A expressão matemática do ajuste por uma reta é:

$$y = a + bx + e \quad (1)$$

Onde a e b , são os coeficientes que representam respectivamente a intersecção com o eixo das ordenadas e a sua inclinação, e e é o erro ou resíduo entre os dados tabelados e o conjunto de valores da reta, que pode ser facilmente representada após reorganizar a equação (1), para:

$$e = y - a - bx \quad (2)$$

Logo, o erro ou resíduo é a diferença entre o valor verdadeiro de y e o valor aproximado $\bar{y} = a + bx$, previsto pela equação linear da reta (CHAPRA; CANALE, 2011). Assim, pode-se minimizar a soma dos quadrados dos erros obtidos entre o y verdadeiro e o \bar{y} calculado pela equação linear, deste modo teremos:

$$D(a, b) = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_{i, \text{verdadeiro}} - \bar{y}_{i, \text{calculado}})^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 \quad (3)$$

Assim, um modo para estimarmos os valores de a e de b é determinar o mínimo da função $D(a, b)$. Neste processo de minimização, calcula-se as derivadas parciais de D em relação a a e b . Desta forma, a equação (3) é derivada com relação a cada coeficiente:

$$D(a, b) = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 \quad (4)$$

$$\frac{\partial D}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i) \quad (5)$$

$$\frac{\partial D}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)x_i \quad (6)$$

Os valores de a e b em que a função $D(a, b)$ apresenta um valor mínimo são determinados quando igualamos as derivadas a zero (BARROSO *et al.*, 1987). Assim teremos:

$$-2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i) = 0 \quad (7)$$

$$-2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)x_i = 0 \quad (8)$$

Deste modo, desenvolvendo algebricamente as equações (7) e (8), obteremos:

$$\sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n a - \sum_{i=1}^n bx_i = 0 \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n y_i x_i - \sum_{i=1}^n ax_i - \sum_{i=1}^n bx_i^2 = 0 \quad (10)$$

Isolando para o 2º membro da equação as somatórias que não envolvem a ou b , teremos:

$$(n)a + \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) b = \sum_{i=1}^n y_i \quad (11)$$

$$\left(\sum_{i=1}^n x_i \right) a + \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) b = \sum_{i=1}^n y_i x_i \quad (12)$$

Assim escrevendo este sistema de equações na forma matricial, encontramos:

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n y_i x_i \end{bmatrix} \quad (13)$$

“A solução deste sistema de equações lineares, também chamadas de equações normais, pode ser obtida pelo método de eliminação de Gauss” (BARROSO *et al.*, 1987). De modo que obteremos os valores dos coeficientes a e b .

3.3 Regressão polinomial

Quando a equação da reta, utilizando o método dos mínimos quadrados, retorna um ajuste insatisfatório, uma opção viável é realizar o ajuste através de uma curva. Neste caso, uma alternativa para atingir este objetivo é ajustar os dados a um polinômio usando a regressão polinomial (CHAPRA; CANALE, 2011; FRANCO, 2006).

Portanto, o procedimento dos mínimos quadrados pode ser facilmente estendido para ajustar os valores tabelados a um polinômio de grau mais alto. Desta forma, sejam n pontos (x_i, y_i) , tal que $i = 1, 2, 3, \dots, n$, e:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^m + e \quad (14)$$

o polinômio aproximador que queremos determinar, em outras palavras, queremos definir os valores das coeficientes: $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$, para um polinômio de grau m .

De forma análoga a regressão linear, a soma dos quadrados dos erros, ou resíduos é:

$$M(a_0, a_1, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2 - \dots - a_nx_i^m) \quad (15)$$

De modo semelhante a regressão linear, seguindo o procedimento para o cálculo das derivadas parciais, derivamos a equação (15) em relação a cada um de seus coeficientes, de modo a obter:

$$\frac{\partial M}{\partial a_0} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2 - \dots - a_nx_i^m) \quad (16)$$

$$\frac{\partial M}{\partial a_1} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2 - \dots - a_nx_i^m)x_i \quad (17)$$

$$\frac{\partial M}{\partial a_2} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2 - \dots - a_nx_i^m)x_i^2 \quad (18)$$

...

$$\frac{\partial M}{\partial a_n} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2 - \dots - a_nx_i^m)x_i^m \quad (19)$$

Assim, igualando as equações (16, 17, 18 e 19) a zero e reorganizando-as para obter as equações normais, teremos:

$$(n)a_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)a_1 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right)a_2 + \dots + a_n \left(\sum_{i=1}^n x_i^m\right) = \sum_{i=1}^n y_i \quad (20)$$

$$\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)a_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right)a_1 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^3\right)a_2 + \dots + a_n \left(\sum_{i=1}^n x_i^m\right)x_i = \sum_{i=1}^n y_i x_i \quad (21)$$

$$\left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right)a_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^3\right)a_1 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^4\right)a_2 + \dots + a_n \left(\sum_{i=1}^n x_i^m\right)x_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i x_i^2 \quad (22)$$

...

$$\left(\sum_{i=1}^n x_i^m\right) a_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i x_i^m\right) a_1 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 x_i^m\right) a_2 + \dots + a_n \left(\sum_{i=1}^n x_i^m x_i^m\right) = \sum_{i=1}^n y_i x_i^m \quad (23)$$

Escrevendo as equações em forma matricial obteremos:

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \dots & \sum_{i=1}^n x_i^2 \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \dots & \sum_{i=1}^n x_i^{m+1} \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^4 & \dots & \sum_{i=1}^n x_i^{m+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=1}^n x_i^m & \sum_{i=1}^n x_i^{m+1} & \sum_{i=1}^n x_i^{m+2} & \dots & \sum_{i=1}^n x_i^{2m} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n y_i x_i \\ \sum_{i=1}^n y_i x_i^2 \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n y_i x_i^m \end{bmatrix} \quad (24)$$

Que poderá ser solucionada utilizando o método da eliminação de Gauss, para a obtenção dos coeficientes: $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$.

3.4 Coeficiente de determinação

O coeficiente de determinação, comumente chamado de R^2 , é um recurso para verificar a qualidade de ajuste de um modelo aos valores determinados, ou seja, é um parâmetro que avalia o quão bom o modelo matemático, como a regressão, está dos valores reais. O coeficiente de determinação tem uma métrica que varia entre 0 a 1, sendo que quanto mais próximo o valor estiver de 1, melhor o ajuste do modelo com os dados tabelados (CHAPRA; CANALE, 2011). Sua equação é dada por:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n}} \quad (25)$$

Onde \bar{y}_i é o valor estimado de y pela equação (regressão) ajustada sobre os valores tabelados.

4 APLICAÇÃO DA REGRESSÃO POLINOMIAL PELO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS SOBRE OS DADOS DA COVID-19 EM ABAETETUBA-PARÁ

Para poder aplicar o método da regressão por mínimos quadrados sobre o boletim epidemiológico referente aos casos confirmados e de óbitos pela covid-19 em Abaetetuba-Pará, realizou-se primeiramente uma otimização dos dados para os cálculos, de modo que os valores acumulados tanto de casos confirmados quanto de mortes pela doença foram subdivididos ao longo dos meses, precisamente no dia 18 de cada mês, desde o início da contagem destes dados do dia 23 de abril de 2020 até o dia 18 de junho de 2021, os quais foram realizados e disponíveis

pela prefeitura da cidade. Assim, obteve-se uma tabela com os estes valores que se apresentam distribuídos conforme expressa a tabela 1:

Tabela 1 – Número de casos de confirmados e óbitos pela Covid-19 em Abaetetuba-Pará, no período de 23 de abril de 2020 até o dia 18 de junho de 2021

Data	Número de confirmados pela doença	Número de óbitos pela doença
18/04/2020	6	0
18/05/2020	768	24
18/06/2020	2197	85
18/07/2020	2493	108
18/08/2020	2960	113
18/09/2020	3122	115
18/10/2020	3253	119
18/11/2020	3442	121
18/12/2020	4518	122
18/01/2021	5532	124
18/02/2021	5802	126
18/03/2021	6186	134
18/04/2021	7800	180
18/05/2021	8525	211
18/06/2021	8951	221

Fonte: Adaptado de ABAETETUBA, 2020.

Através da organização destes dados acumulados de casos de pessoas infectadas e óbitos por Covid-19 ao longo dos meses, aplicou-se estes valores para as análises utilizando o ajuste de curvas através da regressão por mínimos quadrados. Com a auxílio do software Microsoft Office Excel, pôde-se esboçar algumas curvas e investigar quais delas se adequam melhor ao conjunto de dados da tabela 1. Deste modo, estabeleceu-se para o referido trabalho que a curva que será aplicada para os dados tabelados será a curva da regressão polinomial cúbica.

4.1 Aplicação da regressão polinomial cúbica sobre os casos de óbitos

Assim, os pontos tabelados para o número acumulado de óbitos pela doença serão ajustados em uma regressão polinomial cúbica: $\bar{y} = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$, de modo que para obter a sua forma matricial usaremos a equação (24), a qual deverá seguir a seguinte configuração:

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^4 \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^4 & \sum_{i=1}^n x_i^5 \\ \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^4 & \sum_{i=1}^n x_i^5 & \sum_{i=1}^n x_i^6 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n y_i x_i \\ \sum_{i=1}^n y_i x_i^2 \\ \sum_{i=1}^n y_i x_i^3 \end{bmatrix} \quad (26)$$

Portanto, o primeiro procedimento é obter o valor das somatórias enunciadas na equação (26) com o objetivo de encontrar os valores dos coeficientes a_0, a_1, a_2 e a_3 . O cálculo destas somatórias será evidenciado na tabela 2:

Tabela 2 – Cálculo das somatórias para o número de óbitos pela doença

Data	i	(x_i)	(y_i)	(x_i^2)	(x_i^3)	(x_i^4)	(x_i^5)	(x_i^6)	$(y_i x_i)$	$(y_i x_i^2)$	$(y_i x_i^3)$
18/04/2020	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0
18/05/2020	2	2	24	4	8	16	32	64	48	96	192
18/06/2020	3	3	85	9	27	81	243	729	255	765	2295
18/07/2020	4	4	108	16	64	256	1024	4096	432	1728	6912
18/08/2020	5	5	113	25	125	625	3125	15625	565	2825	14125
18/09/2020	6	6	115	36	216	1296	7776	46656	690	4140	24840
18/10/2020	7	7	119	49	343	2401	16807	117649	833	5831	40817
18/11/2020	8	8	121	64	512	4096	32768	262144	968	7744	61952
18/12/2020	9	9	122	81	729	6561	59049	531441	1098	9882	88938
18/01/2021	10	10	124	100	1000	10000	100000	1000000	1240	12400	124000
18/02/2021	11	11	126	121	1331	14641	161051	1771561	1386	15246	167706
18/03/2021	12	12	134	144	1728	20736	248832	2985984	1608	19296	231552
18/04/2021	13	13	180	169	2197	28561	371293	4826809	2340	30420	395460
18/05/2021	14	14	211	196	2744	38416	537824	7529536	2954	41356	578984
18/06/2021	15	15	221	225	3375	50625	759375	11390625	3315	49725	745875
	Σ	120	1803	1240	14400	178312	2299200	30482920	17732	201454	2483648

Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho. Adaptado de ABAETETUBA, 2020.

Notas: Os valores de x_i são relacionados a cada data referente ao boletim epidemiológico.

O y_i é o número de óbitos para cada mês.

Σ é a somatória geral dos valores de cada coluna.

Com os valores das somatórias dos termos encontrados na tabela 2. Substituiremos estes valores das somatórias na equação (26), de modo que obteremos a seguinte matriz:

$$\begin{bmatrix} 15 & 120 & 1240 & 14400 \\ 120 & 1240 & 14400 & 178312 \\ 1240 & 14400 & 178312 & 2299200 \\ 14400 & 178312 & 2299200 & 30482920 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1803 \\ 17732 \\ 201454 \\ 2483648 \end{bmatrix} \quad (27)$$

Desta forma, resolvendo a matriz pelo método de eliminação de Gauss, obteremos os

coeficientes: $a_0 = -64,122$; $a_1 = 68,307$; $a_2 = -8,3689$ e $a_3 = 0,3434$. Consequentemente, pode-se determinar a equação da regressão polinomial dos óbitos de Covid-19, que é dada por:

$$\bar{y} = 0,3434x^3 - 8,3689x^2 + 68,307x - 64,122 \quad (28)$$

Deste modo, com o polinômio ajustado para os casos de mortes por Covid-19, precisa-se determinar a qualidade deste ajuste, que é obtido através do cálculo do coeficiente de determinação. Entretanto, para que possamos determinar a esta qualidade, necessita-se primeiramente calcular os valores de \bar{y} para cada valor de x_i e também os valores da diferença entre $y_i - \bar{y}$, onde y_i é o valor real e \bar{y} é o valor encontrado pela equação (28), além de suas respectivas somatórias, conforme mostra a tabela 3.

Tabela 3 – Dados para o cálculo do coeficiente de determinação (Óbitos pela Covid-19)

Data	i	(y_i)	(y_i^2)	(\bar{y}_i)	$(y_i - \bar{y}_i)^2$
18/04/2020	1	0	0	-3,8405	14,74944025
18/05/2020	2	24	576	41,7636	315,545485
18/06/2020	3	85	7225	74,7507	105,0481505
18/07/2020	4	108	11664	97,1812	117,0464334
18/08/2020	5	113	12769	111,1155	3,55134025
18/09/2020	6	115	13225	118,614	13,060996
18/10/2020	7	119	14161	121,7371	7,49171641
18/11/2020	8	121	14641	122,5452	2,38764304
18/12/2020	9	122	14884	123,0987	1,20714169
18/01/2021	10	124	15376	125,458	2,125764
18/02/2021	11	126	15876	131,6835	32,30217225
18/03/2021	12	134	17956	143,8356	96,73902736
18/04/2021	13	180	32400	163,9747	256,8102401
18/05/2021	14	211	44521	194,1612	283,5451854
18/06/2021	15	221	48841	236,4555	238,8724802
	Σ	1803	264115	1802,534	1490,483216

Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Notas: Σ é a somatória geral dos valores de cada coluna.

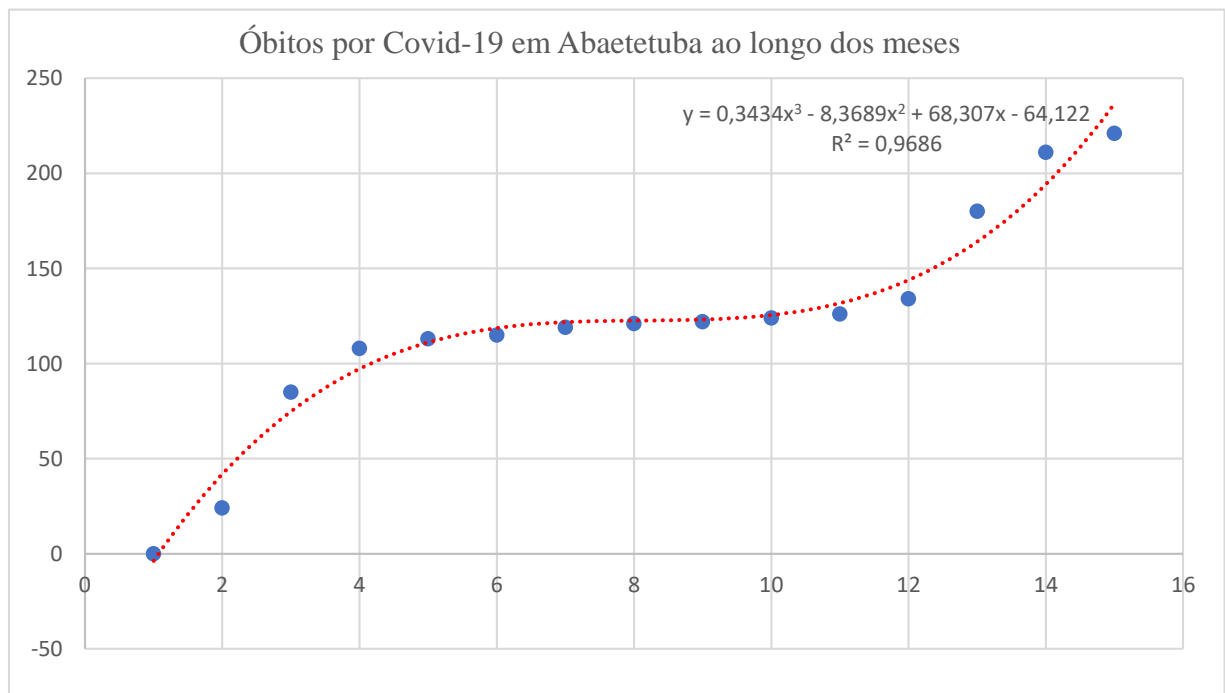
Substituindo os valores das somatórias encontradas na tabela 3 na equação (25), obteremos os seguintes cálculos para definir o coeficiente de determinação ou R^2 da curva ajustada. Assim, teremos:

$$R^2 = 1 - \frac{1490,483216}{264115 - \frac{1803^2}{15}} = 1 - \frac{1490,483216}{47394,4} = 0,968553179 \quad (29)$$

Dessa forma o modelo de regressão polinomial cúbica para o conjunto de dados de óbitos por Covid-19 apresenta um bom ajuste para os dados tabelados, pois o $R^2 = 0,968553179$ está próximo de 1. Convertendo o valor encontrado do coeficiente de determinação para o formato de porcentagem, a curva possui cerca de 96% de ajuste em relação aos valores determinados pelo boletim epidemiológico da cidade de Abaetetuba.

Assim, pode-se estabelecer o gráfico referente a curva gerada por este polinômio em relação aos dados tabelados através do boletim epidemiológico dos casos de óbitos pela Covid-19 e os valores ajustados pela curva, referente aos casos de óbitos pela doença ao durante os meses de 2020 e 2021 que foram medidos, conforme mostra a figura 4:

Figura 4: Gráfico de dispersão das mortes por covid-19 em Abaetetuba



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

4.2 Aplicação da regressão polinomial cúbica sobre os casos de pessoas infectadas pela doença

De forma análoga ao ajuste realizado nos casos de óbitos pela covid-19, o modelo de regressão polinomial cúbica para o número de casos confirmados pela doença seguirá os mesmos critérios de ajuste, utilizando o método dos mínimos quadrados para obter o polinômio aproximador, bem como o cálculo do coeficiente de determinação para avaliar a qualidade da curva ajustada aos dados tabelados, tendo como parâmetro os valores acumulados de infecções pela doença ao longo dos meses.

Portanto, conforme realizado no ajuste para os casos de óbitos, deve-se encontrar os

valores das somatórias dos termos, de forma semelhante a tabela 2. Desta forma, obteremos os seguintes dados visualizados na tabela 4:

Tabela 4 – Cálculo das somatórias para o número de pessoas infectadas pela doença

Data	i	(x_i)	(y_i)	(x_i^2)	(x_i^3)	(x_i^4)	(x_i^5)	(x_i^6)	$(y_i x_i)$	$(y_i x_i^2)$	$(y_i x_i^3)$
18/04/2020	1	1	6	1	1	1	1	1	6	6	6
18/05/2020	2	2	768	4	8	16	32	64	1536	3072	6144
18/06/2020	3	3	2197	9	27	81	243	729	6591	19773	59319
18/07/2020	4	4	2493	16	64	256	1024	4096	9972	39888	159552
18/08/2020	5	5	2960	25	125	625	3125	15625	14800	74000	370000
18/09/2020	6	6	3122	36	216	1296	7776	46656	18732	112392	674352
18/10/2020	7	7	3253	49	343	2401	16807	117649	22771	159397	1115779
18/11/2020	8	8	3442	64	512	4096	32768	262144	27536	220288	1762304
18/12/2020	9	9	4518	81	729	6561	59049	531441	40662	365958	3293622
18/01/2021	10	10	5532	100	1000	10000	100000	1000000	55320	553200	5532000
18/02/2021	11	11	5802	121	1331	14641	161051	1771561	63822	702042	7722462
18/03/2021	12	12	6186	144	1728	20736	248832	2985984	74232	890784	10689408
18/04/2021	13	13	7800	169	2197	28561	371293	4826809	101400	1318200	17136600
18/05/2021	14	14	8525	196	2744	38416	537824	7529536	119350	1670900	23392600
18/06/2021	15	15	8951	225	3375	50625	759375	11390625	134265	2013975	30209625
Σ	120	65555	1240	14400	178312	2299200	30482920	690995	8143875	102123773	

Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho. Adaptado de ABAETETUBA, 2020.

Notas: Os valores de x_i são relacionados a cada data referente ao boletim epidemiológico.

O y_i é o número de casos confirmados de infectados para cada mês.

Σ é a somatória geral dos valores de cada coluna.

Assim, com os valores calculados na tabela 4 para as somatórias dos termos necessários para a substituição na equação (26), temos a seguinte matriz:

$$\begin{bmatrix} 15 & 120 & 1240 & 14400 \\ 120 & 1240 & 14400 & 178312 \\ 1240 & 14400 & 178312 & 2299200 \\ 14400 & 178312 & 2299200 & 30482920 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 65555 \\ 690995 \\ 8143875 \\ 102123773 \end{bmatrix} \quad (30)$$

Portanto, resolvendo a matriz acima pelo método de eliminação de Gauss, obteremos $a_0 = -649,03$; $a_1 = 957,46$; $a_2 = -75,468$ e $a_3 = 3,7483$. Conseqüentemente, teremos a seguinte equação polinomial cúbica:

$$\bar{y} = 3,7483x^3 - 75,468x^2 + 957,46x - 649,03 \quad (31)$$

Logo, de forma análoga ao ajuste dos casos de óbitos por covid-19, a partir da equação (31) poderemos obter coeficiente de determinação (R^2). No entanto, inicialmente deveremos encontrar os valores das somatórias de y_i , y_i^2 , \bar{y}_i e $(y_i - \bar{y}_i)$, conforme mostra a tabela 5:

Tabela 5 – Dados para o cálculo do coeficiente de determinação (infectados pela Covid-19)

Data	i	(y_i)	(y_i^2)	(\bar{y}_i)	$(y_i - \bar{y}_i)^2$
18/04/2020	1	6	36	236,7103	53227,24253
18/05/2020	2	768	589824	994,0044	51077,98882
18/06/2020	3	2197	4826809	1645,3421	304326,4386
18/07/2020	4	2493	6215049	2213,2132	78280,65345
18/08/2020	5	2960	8761600	2720,1075	57548,41156
18/09/2020	6	3122	9746884	3188,5148	4424,218619
18/10/2020	7	3253	10582009	3640,9249	150485,728
18/11/2020	8	3442	11847364	4099,8276	432737,1513
18/12/2020	9	4518	20412324	4587,7127	4859,860541
18/01/2021	10	5532	30603024	5127,07	163968,3049
18/02/2021	11	5802	33663204	5740,3893	3795,878354
18/03/2021	12	6186	38266596	6450,1604	69780,71693
18/04/2021	13	7800	60840000	7278,8731	271573,2459
18/05/2021	14	8525	72675625	8249,0172	76166,5059
18/06/2021	15	8951	80120401	9383,0825	186695,2868
	Σ	65555	389150749	65554,95	1908947,632

Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

Notas: Σ é a somatória geral dos valores de cada coluna.

Com os valores das somatórias obtidos, pode-se calcular o coeficiente de determinação, substituindo os respectivos valores das somatórias de y_i , y_i^2 , \bar{y}_i e $(y_i - \bar{y}_i)$ na equação (25), de modo que obtém-se:

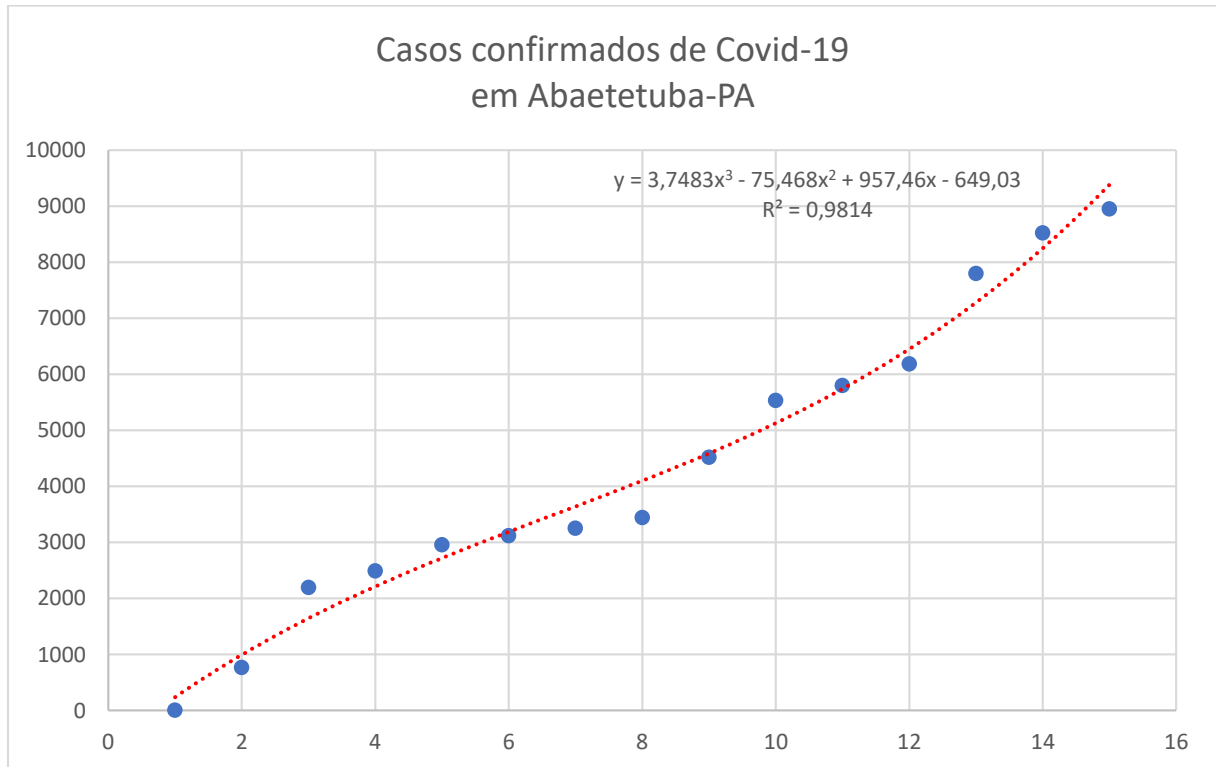
$$R^2 = 1 - \frac{1908947,632}{389150749 - \frac{65555^2}{15}} = 1 - \frac{1908947,632}{102653547} = 1 - 0,018596 = 0,981404 \quad (32)$$

Portanto, encontra-se o valor de 0,981404 para o coeficiente de determinação que está bem próximo de 1 e convertendo este valor para porcentagem, temos cerca de 98% de ajuste, o que indica uma boa aproximação da curva para os pares ordenados referentes ao número de casos confirmados pela Covid-19 em Abaetetuba-Pará, indicando que o modelo de modelagem por regressão polinomial cúbica é satisfatório para o conjunto de dados tabelados.

Com a determinação do polinômio aproximador e o coeficiente de determinação,

poderemos esboçar a curva que representa o ajuste em relação ao número de casos de indivíduos infectados pela doença ao decorrer dos meses, conforme mostra a figura 5:

Figura 5: Número acumulado de pessoas infectadas pela doença em Abaetetuba.



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O quadro grave de saúde pública que a Covid-19 gerou iniciou-se em março de 2020 no Brasil, em Abaetetuba o primeiro caso de infecção pela doença foi catalogado no dia 31 de março de 2020. Dentro deste cenário é que este trabalho foi realizado.

Este trabalho teve como objetivo o estudo e a aplicação do modelo de regressão polinomial utilizando o método dos mínimos quadrados para o ajuste de curvas referentes ao número casos de confirmados e de óbitos por Covid-19, no município de Abaetetuba. O modelo de regressão polinomial cúbica, mostrou-se eficaz para avaliar os respectivos dados, bem como a tendência que estes valores podem ter ao longo dos meses, porém vale ressaltar que este modelo está sujeito a informações divergentes, pois leva-se em consideração que se trata de um modelo que foi realizado com base em informações que diariamente estão sendo atualizadas, e que comumente podem sofrer alterações. Assim, deve se ter cautela, pois qualquer sistema em evolução pode estar sujeito a fatores externos, visto que o modelo indica que os valores futuros seguirão com a tendência atual. Portanto, tendo em vista que as ações para a prevenção da

doença, surgimento de novas cepas do vírus ou mesmo a falta de registro desses números de casos pelos órgãos competentes, são fatores que podem influenciar positiva ou negativamente os valores futuros da curva modelada.

Ademais, o referido trabalho poderá servir como um parâmetro inicial para futuras previsões e outros modelos de curvas a serem ajustados, além de servir como uma ferramenta de análise para que as políticas públicas possam traçar um plano de prevenção e controle da doença no município ou mesmo servir como recurso para o estudo de outras doenças na cidade.

REFERÊNCIAS

ABAETETUBA, Prefeitura de Abaetetuba cuidando de todos. **Contra o coronavírus (COVID-19)**, [2020]. Disponível em: <<https://www.abaetetuba.pa.gov.br/boletim.php>>. Acesso em: 15 de outubro de 2021.

ARCANJO, Angélica *et al.* Critically Ill Coronavirus Disease 2019 Patients Exhibit Hyperactive Cytokine Responses Associated With Effector Exhausted Senescent T Cells in Acute Infection . **The Journal of Infectious Diseases**, v. 224, n.10, p. 1672–1683, 2021. Disponível em: <<https://academic.oup.com/jid/article/224/10/1672/6357075>>. Acesso em: 02 de novembro de 2021.

BARROSO, Leônidas *et al.* **Cálculo numérico: com aplicações**. 2. ed. São Paulo: HARBRA, 1987.

CARVALHO, Laura. **Curto-circuito: O vírus e a volta do Estado**. [S.l.]: Todavia, 2020.

CHAPRA, Steven; CANALE, Raymond. **Métodos Numéricos para Engenharia**. 5. ed. São Paulo: AMGH, 2011.

CORONAVÍRUS, Coronavírus Brasil. **COVID-19 – Painel de controle**, 2020. Disponível em: <<https://covid.saude.gov.br/>>. Acesso em: 15 de outubro de 2021.

FIOCRUZ, Fundação Oswaldo Cruz. **Quais os sintomas do coronavírus?**, 2020. Disponível em: <<https://portal.fiocruz.br/pergunta/quais-os-sintomas-do-coronavirus>>. Acesso em: 02 de novembro de 2021.

FRANCO, N. Bertoldi. **Cálculo numérico**. 1. Ed. São Paulo: PEARSON, 2006.

LUNA, E.J.A.; SILVA JR., JB. Doenças transmissíveis, endemias, epidemias e pandemias. **A saúde no Brasil em 2030 – prospecção estratégica do sistema de saúde brasileiro: população e perfil sanitário**, v.2, p. 123–176, 2013. Disponível em: <<https://books.scielo.org/id/8pmmypdf/noronha-9788581100166-06.pdf>>. Acesso em: 02 de novembro de 2021.

MARQUES, Luiz. A pandemia incide no ano mais importante da história da humanidade. Serão as próximas zoonoses gestadas no Brasil?. **Unicamp**, 2020. Disponível em: <<https://www.unicamp.br/unicamp/noticias/2020/05/05/pandemia-incide-no-ano-mais-importante-da-historia-da-humanidade-serao-proximas>>. Acesso em: 06 de outubro de 2021.

OPAS, Organização Pan-Americana de Saúde. **Folha informativa sobre covid-19**, [2020?]. Disponível em: <<https://www.paho.org/pt/covid19>>. Acesso em: 12 de novembro de 2021.

OPAS, Organização Pan-Americana de Saúde. **Transmissão do SARS-CoV-2: implicações para as precauções de prevenção de infecção**, 2020. Disponível em: <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/52472/OPASWBRACOVID-1920089_por.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 de novembro de 2021.

PROSDOCIMI, Francisco; FARIAS, S.T. Vírus: Reinterpretando a história natural e sua importância ecológica. **Revista Helius**, v. 3, n. 2, p. 1791-1811, 2020. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Prosdocimi/publication/350382949_Virus_reinterpretando_a_historia_natural_e_sua_importancia_ecologica/links/605c9f13299bf173676b8cff/Virus-reinterpretando-a-historia-natural-e-sua-importancia-ecologica.pdf>. Acesso em: 06 de outubro de 2021.

RIOS, Dermival Ribeiro. **Minidicionário Escolar Língua Portuguesa**. 1. ed. São Paulo: DCL, 2009.

RUGGIERO, Márcia; LOPES, Vera. **Cálculo numérico: Aspectos teóricos e computacionais**. 2. ed. São Paulo: PEARSON, 2000.

SANAR, Sanarmed. **CORONAVÍRUS (Covid-19): origem, sinais, sintomas, achados, tratamento e mais**, 2020. Disponível em: <<https://www.sanarmed.com/coronavirus-origem-sinais-sintomas-achados-tratamentos>>. Acesso em: 12 de novembro de 2021.

SANAR, Sanarmed. **Linha do tempo do Coronavírus no Brasil**, 2020. Disponível em: <<https://www.sanarmed.com/linha-do-tempo-do-coronavirus-no-brasil>>. Acesso em: 12 de novembro de 2021.

SESPA, Secretaria de Estado da Saúde do Pará. **Boletim epidemiológico - COVID-19**, [2020]. Disponível em: <<http://www.saude.pa.gov.br/coronavirus/boletim-epidemiologico-covid/>>. Acesso em: 15 de novembro de 2021.

SILVA, L.J.; ANGERAMI, R.N., **Viroses emergentes no Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2008. p. 7-15.

STEPHEN, N.J Korsman *et al.* **Virologia**. 1. ed, Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

STEPHENS, P.R.S. *et al.* **Virologia**, 2009. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/13725/2/Conceitos%20e%20Metodos%20V4_Virologia.pdf>. Acesso em: 06 de outubro de 2021.

TOZZI, Marcela. *et al.* **Você sabe como surgiu o coronavírus SARS-CoV-2?**, 2021. Disponível em: <<https://coronavirus.saude.mg.gov.br/blog/27-como-surgiu-o-coronavirus>>. Acesso em: 10 de novembro de 2021.

UJVARI, Stefan. **A história da humanidade contada pelo vírus**. [S.]: Editora Contexto, 2012.

VELAVAN, Thirumalaisamy *et al.* The COVID-19 epidemic. **US National Library of Medicine National Institutes of Health**. V. 25, n.3, p. 278-280, 2020. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7169770/>>. Acesso em 01 de novembro de 2021.

WHO, World Health Organization. **Coronavirus disease (COVID-19)**, 2021. Disponível em: <<https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-health-and-safety-in-the-workplace>>. Acesso em: 12 de novembro de 2021.

WHO, World Health Organization. **Origin of SARS-CoV-2**, 2020. Disponível em:

<<https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/origins-of-the-virus>>. Acesso em: 13 de novembro de 2021.

WHO, World Health Organization. **Preventing and mitigating COVID-19 at work**, 2021. Disponível em: < <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-workplace-actions-policy-brief-2021-1>>. Acesso em: 13 de novembro de 2021.