

**MODELAGEM MATEMÁTICA DA TAXA DE CRESCIMENTO DO CÂNCER DE MAMA EM MULHERES DE 40 A 69 ANOS NO MARANHÃO**

**MATHEMATICAL MODELING OF THE GROWTH RATE OF BREAST CANCER IN WOMEN AGED 40 TO 69 IN MARANHÃO**

**MODELADO MATEMÁTICO DE LA TASA DE CRECIMIENTO DEL CÁNCER DE MAMA EN MUJERES DE 40 A 69 AÑOS EN MARANHÃO**



10.56238/revgeov17n3-167

**Raimundo dos Santos Marcolino**

Doutor em Matemática Aplicada

Instituição: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Endereço: Piauí, Brasil

E-mail: [raimundo.marcolino@ifma.edu.br](mailto:raimundo.marcolino@ifma.edu.br)

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/1630743969883674>

**Sarah da Silva Gonçalves**

Graduada em Licenciatura em Matemática

Instituição: Instituto Federal do Maranhão (IFMA)

Endereço: Maranhão, Brasil.

E-mail: [sarah.goncalves098@gmail.com](mailto:sarah.goncalves098@gmail.com)

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/2500461743448679>

**Danilo Lima Falcão**

Mestre em Matemática Aplicada e Computacional

Instituição: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Endereço: Maranhão, Brasil

E-mail: [danilo.falcao@ifma.edu.br](mailto:danilo.falcao@ifma.edu.br)

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/8870106119029455>

**Abias Rodrigues da Cruz**

Doutor em Ciências da Educação

Instituição: Universidade Tecnologia Internacional- UTIC, PY

Endereço: Maranhão, Brasil

E-mail: [abias.cruz@ifma.edu.br](mailto:abias.cruz@ifma.edu.br)

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/7002110675154957>

**Alberto Faustino Dias**

Mestre em Matemática Aplicada e Computacional

Instituição: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Endereço: Piauí, Brasil

E-mail: [alberto.dias@ifma.edu.br](mailto:alberto.dias@ifma.edu.br)

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/0063256289703555>



**Francisco Sérgio Ribeiro dos Santos**

Mestre em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas  
Instituição: Universidade Federal do Ceará (UFC)  
Endereço: Piauí, Brasil  
E-mail: sergio.c.pm20@hotmail.com  
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/7529172206137428>

**Emmanuel Sepúlveda de Oliveira**

Mestre em Ensino de Física  
Instituição: Universidade Federal do Piauí (UFPI)  
Endereço: Maranhão, Brasil  
E-mail: emmanuel.oliveira@prof.edu.ma.gov.br  
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/4744911146802517>

**José Júlio Gomes Neto**

Mestre em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação  
Instituição: Universidade Federal do Piauí (UFPI)  
Endereço: Maranhão, Brasil  
E-mail: jose.gomesneto@ifma.edu.br  
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/9499333564977994>

**John dos Santos Freitas**

Mestre em Ciência Política  
Instituição: Universidade Federal do Piauí (UFPI)  
Endereço: Piauí, Brasil  
E-mail: john.freitas@ifma.edu.br  
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/2429151551774454>

**RESUMO**

O presente trabalho tem por objetivo calcular e analisar a taxa de crescimento do câncer de mama em mulheres de 40 a 69 anos no estado do Maranhão, com o uso de modelos matemáticos que modelam o crescimento de populações frequentemente aplicados à epidemiologia. É notório que o câncer de mama constitui um relevante problema de saúde pública no mundo, apresentando crescimento significativo ao longo dos anos de 2009 e 2013, o que justifica a necessidade de estudos quantitativos que auxiliem na compreensão de sua dinâmica. Dessa forma, a metodologia aplicada baseia-se em uma pesquisa de natureza quantitativa, de caráter exploratório-descritivo, com a utilização de dados coletados na plataforma de informação DataSUS. Seguida da aplicação dos modelos de crescimento de Malthus, Verhulst e Série Temporal. Conclui-se que a modelagem matemática se mostra uma ferramenta eficaz no apoio à análise epidemiológica, contribuindo para a análise do comportamento da doença e podendo auxiliar na formulação de políticas públicas voltadas à prevenção e ao controle do câncer de mama no Maranhão.

**Palavras-chave:** Câncer de Mama. Modelagem Matemática. Epidemiologia. Taxa de Crescimento. Maranhão.



**ABSTRACT**

This study aims to calculate and analyze the growth rate of breast cancer in women aged 40 to 69 in the state of Maranhão, using mathematical models that model population growth, frequently applied to epidemiology. It is well known that breast cancer constitutes a significant public health problem worldwide, showing substantial growth between 2009 and 2013, justifying the need for quantitative studies to aid in understanding its dynamics. Therefore, the methodology applied is based on quantitative, exploratory-descriptive research using data collected from the DataSUS information platform. This was followed by the application of the Malthusian, Verhulst, and Time Series growth models. It is concluded that mathematical modeling proves to be an effective tool in supporting epidemiological analysis, contributing to the analysis of disease behavior and potentially assisting in the formulation of public policies aimed at the prevention and control of breast cancer in Maranhão.

**Keywords:** Breast Cancer. Mathematical Modeling. Epidemiology. Growth Rate. Maranhão.

**RESUMEN**

Este estudio tiene como objetivo calcular y analizar la tasa de crecimiento del cáncer de mama en mujeres de 40 a 69 años en el estado de Maranhão, utilizando modelos matemáticos que simulan el crecimiento poblacional, frecuentemente aplicados en epidemiología. Es bien sabido que el cáncer de mama constituye un importante problema de salud pública a nivel mundial, mostrando un crecimiento sustancial entre 2009 y 2013, lo que justifica la necesidad de estudios cuantitativos para comprender su dinámica. Por lo tanto, la metodología aplicada se basa en una investigación cuantitativa, exploratoria y descriptiva, utilizando datos recopilados de la plataforma de información DataSUS. Posteriormente, se aplicaron los modelos de crecimiento malthusiano, de Verhulst y de series temporales. Se concluye que el modelado matemático demuestra ser una herramienta eficaz para apoyar el análisis epidemiológico, contribuyendo al análisis del comportamiento de la enfermedad y potencialmente ayudando en la formulación de políticas públicas dirigidas a la prevención y el control del cáncer de mama en Maranhão.

**Palabras clave:** Cáncer de Mama. Modelado Matemático. Epidemiología. Tasa de Crecimiento. Maranhão.



## 1 INTRODUÇÃO

Define-se neoplasia a proliferação anormal de células, que expressam um descontrole parcial ou total do organismo e tende a autonomia e a perfuração, com efeitos agressivos para a vida. São classificadas em neoplasia benigna e neoplasia maligna (ABC do Câncer, 2020). O câncer de mama é a neoplasia maligna mais prevalentes no Brasil e a principal causa de morte por câncer entre mulheres. De acordo com o Instituto Nacional de Câncer (INCA), essa doença representa cerca de 28% dos novos casos de câncer diagnosticados anualmente no país. No Maranhão, observa-se um crescimento significativo da incidência desse tipo de câncer, especialmente entre mulheres acima de 40 anos.

Considerando a modelagem Matemática como o meio para transformar problemas da realidade em problemas matemáticos e resolvê-los interpretando suas soluções na linguagem do mundo real (BASSANEZI, 2002). Por meio deste trabalho de pesquisa, iremos utilizar o cálculo de variações discretas para determinar e analisar a taxa de crescimento do câncer de mama entre mulheres de 40 a 69 anos no Estado do Maranhão – Brasil. A metodologia da pesquisa consiste na coleta de dados provenientes da plataforma DataSUS, por meio da ferramenta TabNet, referentes aos registros de exames de mamografia realizados no período de 2009 a 2013. Esses dados são organizados em tabelas, de modo a expressar o total de diagnósticos registrados no Maranhão espaço temporal analisado.

Por meio de modelos matemáticos, como os modelos de Malthus, Verhulst e séries temporais, é possível descrever, comparar e prever tendências de crescimento, auxiliando na compreensão da dinâmica da doença. Assim, a integração entre matemática e epidemiologia permite uma abordagem quantitativa capaz de apoiar a tomada de decisões em saúde pública.

### 1.1 OBJETIVOS

Considerando dados estatísticos, para aprofundar a análise sobre o impacto das doenças na saúde brasileira, é necessário considerar os dados consolidados por instituições de referência, como o Instituto Nacional de Câncer (INCA, 2020).

O câncer de mama representa 16,4% do total de óbitos por neoplasias entre mulheres, evidenciando-se como a principal causa de mortalidade por câncer nesse grupo. Essa expressiva porcentagem concretiza a necessidade urgente de ações contínuas de prevenção, diagnóstico precoce e ampliação do acesso aos serviços de saúde. Para a sociedade, compreender a magnitude desse número é fundamental, pois somente com informação, políticas públicas adequadas e incentivo a práticas de autocuidado — como o autoexame, a realização regular da mamografia e a promoção de estilos de vida saudáveis — torna-se possível reduzir o impacto dessa doença e fortalecer estratégias de combate à neoplasia mamária (INCA,2019).

A presente pesquisa revela-se importante para a sociedade, uma vez que ao determinar a taxa de crescimento do câncer de mama em mulheres de 40 a 69 anos, pode-se constatar o nível de



crescimento dessa neoplasia ao longo das vidas das mulheres. Dessa forma, a área da saúde poderá estabelecer previsões sobre o curso de determinadas decisões que é fundamental para a escolha de tratamento adequado para o câncer de mama.

Este Trabalho está dividido da seguinte forma: O referencial teórico fala-se do câncer de mama sob a perspectiva dos aspectos epidemiológicos, com ênfase no câncer de mama. Com uma parte que se dedica à análise do câncer de mama no estado do Maranhão, bem como a discursão da relevância da modelagem matemática no campo da epidemiologia. A metodologia aborda a modelagem da taxa de crescimento do câncer de mama, evidenciando os modelos de Malthus, Verhuslt e series temporais. Por fim, seguimos com os resultados obtidos, logo após a conclusão.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

No corpo humano as células “normais”, que formam os tecidos, são capazes de se multiplicarem por meio de um processo contínuo que é natural, chamado de mitose, que faz parte de um conjunto maior de eventos conhecido como ciclo celular. Assim, a maioria das células normais crescem, se multiplicam e morrem de maneira ordenada, com algumas exceções, como: os neurônios que nunca se dividem e outras células do Tecido Epitelial, que se dividem de forma rápida e contínua. Dessa maneira, não consideramos a proliferação celular uma malignidade no organismo, sendo simplesmente uma resposta às necessidades específicas do corpo humano (ABC do Câncer, 2020).

Pode-se compreender como crescimento desordenado de células, a perda do controle da divisão celular e a capacidade de invadir outras estruturas orgânicas. Segundo o livro ABC do câncer (2020), o crescimento das células cancerosas é diferente do crescimento das células normais. As células cancerosas, em vez de morrerem, continuam crescendo incontrolavelmente, formando outras novas células anormais. Diversos organismos vivos podem apresentar, em algum momento da vida, anormalidade no crescimento celular – as células dividem-se de forma rápida, agressiva e incontrolável, espalhando-se para outras regiões do corpo – acarretando transtornos funcionais. O câncer é um desses transtornos.

O câncer pode ser classificado em câncer in situ e câncer invasivo, essa classificação está relação ao seu nível de invasão das células tumorais nos tecidos, ou seja, o quanto tumor já ultrapassou ou não a sua camada de origem.

O câncer in situ, também chamado não invasivo, é o estágio inicial de classificação dos tumores sólidos (com exceção dos cânceres que acometem o sistema sanguíneo). Nessa fase, as células malignas permanecem restritas à camada de tecido onde surgiram, sem ultrapassar para estruturas adjacentes dentro do órgão. Em resumo, os carcinomas in situ apresentam elevada probabilidade de cura, desde que recebam tratamento adequado antes de evoluírem para a forma invasiva do câncer.



No câncer invasivo, as células malignas ultrapassam a camada de origem e passam a infiltrar outras estruturas do órgão. Desse modo, elas podem alcançar a corrente sanguínea ou o sistema linfático, adquirindo a capacidade de se propagar pelo organismo. Essa característica invasiva de tecidos, originando novos tumores a partir do tumor primário, é a principal característica das neoplasias malignas.

## 2.1 O CÂNCER DE MAMA

Conforme discutido previamente, é o câncer que mais afeta as mulheres. Mas acomete homens, embora seja casos raros, representando cerca de 1% de todos os casos. Esse tipo, se desenvolve em células mamárias e, quando detectado precocemente, apresenta altas taxa de cura (INCA, 2020).

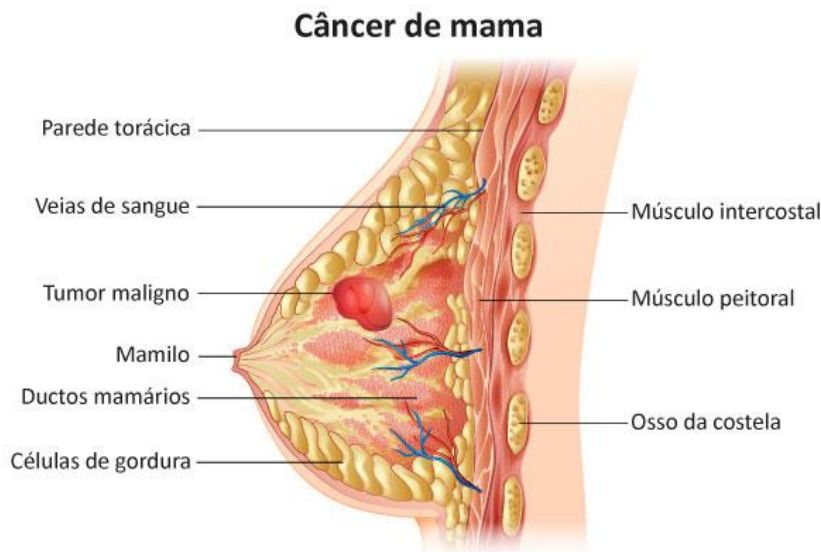
As mamas são constituídas em glândulas compostas por lobos, que estão subdividido em unidades menores chamadas de lóbulos e ductos mamários, como é visto na figura 9.

Essa neoplasia inicia-se, nas células epiteliais que revestem os ductos lactíferos ou lóbulos mamários, que são estruturas ligadas ao transporte e a produção do leite materno. O desenvolvimento dessa doença, deve-se pelas alterações genéticas no DNA dessas células, que podem ser induzidas de forma espontânea ou por fatores hormonais, ambientais e hereditários. Isso resulta em alterações que comprometem os mecanismos normais de controle do ciclo celular, gerando uma proliferação desordenada e contínua das células anormais. (KUMAR, 2021).

Nesse viés, as células malignas permanecem confinadas ao seu local de origem, dessa forma caracterizando o carcinoma in situ. Assim, a progressão da doença acomete na invasão do tecido mamário adjacente, isto é, o carcinoma invasivo (Figura 1). Nesse estágio, as células cancerígenas formadas tendem adquirir uma capacidade para romper a membrana basal e infiltrar-se nos tecidos vizinhos, facilitando o crescimento tumoral e a formação de massas palpáveis na mama.



Figura 1 – Câncer de mama



Fonte: GCA – GRUPO CARE ANESTESIA, 2024.

Logo, à medida que o tumor evolui, existe a possibilidade de disseminação das células neoplásicas por meio dos vasos linfáticos e sanguíneos. Esse sistema linfático, especificamente os linfonodos axilares, constituem a principal via para a propagação do câncer de mama. Quando entram na corrente sanguínea, as células tumorais podem formar metástases em órgãos distantes, a exemplo disso, os ossos, pulmões, fígado e o cérebro, isso sendo associado a estágios avançados da doença.

## 2.2 CÂNCER DE MAMA NO MARANHÃO

Na perspectiva do Maranhão, algumas limitações no acesso ao diagnóstico precoce e ao tratamento adequado contribuem para um cenário ainda mais preocupante, particularmente na faixa etária de 49 a 60 anos, que apresenta um risco aumentado devido a fatores hormonais, genéticos e ambientais. Compreender a dinâmica do crescimento do câncer de mama nesta população é fundamental para propor estratégias de intervenção mais eficazes (BRASIL, DATASUS, 2009–2013).

Nesse contexto, destaca-se que, entre os anos de 2020 e 2021, o estado do Maranhão registrou aproximadamente 1.699 casos de câncer de mama, sendo 1.221 notificações em 2020 e 478 em 2021. No mesmo período, foram registrados 430 óbitos decorrentes dessa neoplasia (IPÁCIO, 2025).

A faixa etária de 49 a 60 anos é particularmente crítica na epidemiologia do câncer de mama, uma vez que coincide com o período de transição hormonal da menopausa, que influencia diretamente o risco e a progressão do tumor. Alterações nos níveis de estrogênio e progesterona impactam não apenas a probabilidade de desenvolvimento do câncer, mas também sua taxa de crescimento (PIMENTEL, 2014).

O estudo de Pimentel (2014) demonstra que, nessa faixa etária, há uma tendência de desenvolvimento de tumores com características biológicas distintas. Nessa pesquisa, notou-se certa



frequência das faixas de idade de 41 a 50 e de 51 a 60 anos, referente a 32,5% dentro da amostra de 157 mulheres entrevistadas diagnosticadas de câncer de mama, em tratamento ou acompanhamento oncológico no Instituto Maranhense de Oncologia Aldenora Bello – IMOAB, São Luís.

Isso fundamenta que os modelos matemáticos sejam ajustados para refletir essas particularidades na população feminina do Maranhão.

### 2.3 A IMPORTÂNCIA DA MODELAGEM MATEMÁTICA NA EPIDEMIOLOGIA

Compreende-se como Modelagem Matemática, arte de transformar problemas da realidade em problemas matemáticos e resolvê-los interpretando suas soluções na linguagem do mundo real, pode ser utilizada como um método científico de pesquisa quanto uma metodologia de ensino-aprendizagem (BASSANEZI, 2002). Na presente pesquisa, a Modelagem Matemática será utilizada como método científico.

Além disso, a Modelagem Matemática pressupõe multidisciplinariedade, nesse viés, fazendo ligações com novas tendências que apontam para a remoção de fronteiras entre as diversas áreas de pesquisa. O câncer de mama é a principal causa das mortes de mulheres brasileiras vítimas do câncer. O Brasil tem acompanhado as taxas de crescimento de incidência e mortalidade nos países mais desenvolvidos, mas em contrapartida, tem negligenciado as ações de prevenção, diagnóstico e controle da doença (SILVA; RIUL, 2011). Configurando-se dessa forma, um grande problema para a vida de muitas brasileiras.

A utilização de modelos matemáticos na saúde pública tem ganhado relevância, especialmente em contextos em que os recursos são escassos. No Maranhão, a aplicação desses modelos no câncer de mama pode contribuir para o desenvolvimento de políticas de saúde mais eficientes, ao permitir simulações de cenários futuros, estimativas de impacto de intervenções preventivas, otimização de recursos para diagnóstico e tratamento, e definição de grupos prioritários para rastreamento. Dessa forma, a modelagem matemática se configura não apenas como uma ferramenta acadêmica, mas como um instrumento prático de gestão em saúde.

## 3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este trabalho utilizará uma abordagem de natureza quantitativa, de caráter exploratório-descritivo, com o objetivo de compreender e modelar a taxa de crescimento do câncer de mama em mulheres de 40 a 69 anos no estado do Maranhão. A abordagem metodológica envolve a coleta, organização, análise estatística e modelagem matemática dos dados sobre a incidência da doença nessa população (BASSANEZI, 2015).

A pesquisa é exploratória porque busca investigar e compreender a dinâmica do crescimento dos casos de câncer de mama na região, o que pode envolver variáveis ainda pouco analisadas no



contexto local. É também descritiva, pois se propõe a caracterizar os dados da população estudada, apresentando algumas informações como faixa etária, passagem de tempo e geográfica dos casos de câncer de mama, além de aspectos quantitativos da progressão da doença.

### 3.1 COLETA DE DADOS

Os dados utilizados nessa pesquisa, foram coletados no sistema DataSUS, por meio da ferramenta TabNet, especificamente nos bancos de dados SISCOLO (Sistema de Informação do Câncer do Colo do Útero) e SISMAMA (Sistema de Informação do Câncer de Mama).

Portanto, a coleta dos dados foi formulada a partir de uma abordagem quantitativa, de caráter exploratório e epidemiológico. Com isso, foram selecionados registros referentes aos diagnósticos obtidos por meio do exame de mamografia, considerando o período de janeiro de 2009 a abril de 2014 no Maranhão. As variáveis analisadas incluíram a faixa etária de 40 a 69 anos e a localização do nódulo mamário. Logo após a extração, os dados foram organizados em duas tabelas referentes ao nódulo mamário direito e o nódulo mamário esquerdo.

A Tabela 1 evidencia registros dos diagnósticos de nódulos mamários direito obtidos em exames de mamografias pelo sistema SUS. Os dados estão organizados segundo a faixa etária e ano, possibilitando a análise da distribuição dos casos no período de 2009 a 2014.

Tabela 1 – Dados de diagnósticos de nódulos mamários direito.

#### Informações Estatísticas

#### Maranhao

#### Exame Mamografia

##### Nod Mama Dir por Faixa Etária segundo Ano Competência

**Faixa Etária:** Entre 40 a 44 anos, Entre 45 a 49 anos, Entre 50 a 54 anos, Entre 55 a 59 anos, Entre 60 a 64 anos, Entre 65 a 69 anos

**Sexo:** Feminino

**Período:** Jan/2009-Abr/2014

Ano Competência	Entre 40 a 44 anos	Entre 45 a 49 anos	Entre 50 a 54 anos	Entre 55 a 59 anos	Entre 60 a 64 anos	Entre 65 a 69 anos	Total
<b>TOTAL</b>	<b>447</b>	<b>617</b>	<b>459</b>	<b>298</b>	<b>184</b>	<b>119</b>	<b>2.124</b>
2009	31	54	32	24	10	9	160
2010	57	68	56	35	25	13	254
2011	91	124	86	53	37	20	411
2012	141	187	128	90	44	35	625
2013	119	173	153	91	65	40	641
2014	8	11	4	5	3	2	33

Fonte: DataSUS/TabNet - SISMAMA, 2025.



Em sequência, a Tabela 2 apresenta os registros dos diagnósticos de nódulos mamários esquerdo obtidos em exames de mamografias pelo sistema SUS, também organizada segundo a faixa etária e ano, possibilitando a análise da distribuição dos casos no período de 2009 a 2014.

Tabela 2 – Dados de diagnósticos de nódulos mamários esquerdo.

**Informações Estatísticas**

**Maranhao**

**Exame Mamografia**

**Nod Mama Esq por Faixa Etária segundo Ano Competência**

**Faixa Etária:** Entre 40 a 44 anos, Entre 45 a 49 anos, Entre 50 a 54 anos, Entre 55 a 59 anos, Entre 60 a 64 anos, Entre 65 a 69 anos

**Sexo:** Feminino

**Período:** Jan/2009-Abr/2014

Ano Competência	Entre 40 a 44 anos	Entre 45 a 49 anos	Entre 50 a 54 anos	Entre 55 a 59 anos	Entre 60 a 64 anos	Entre 65 a 69 anos	Total
<b>TOTAL</b>	<b>464</b>	<b>601</b>	<b>451</b>	<b>269</b>	<b>154</b>	<b>94</b>	<b>2.033</b>
2009	31	56	32	28	12	4	163
2010	64	73	59	31	14	7	248
2011	97	127	86	45	30	23	408
2012	150	172	143	78	41	19	603
2013	116	166	126	82	55	39	584
2014	6	7	5	5	2	2	27

Fonte: DataSUS/TabNet - SISMAMA, 2025.

**3.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA**

Os dados coletados no sistema, evidenciam aspectos epidemiológicos relevantes direcionados à distribuição dos casos de neoplasia segundo o lado da mama e a faixa etária das mulheres diagnosticadas.

No período analisado, foram registrados 2.124 casos de nódulos mamários na mama direita e 2.033 casos na mama esquerda, indicando uma discreta predominância de diagnósticos no lado direito. Contudo, apesar dessa diferença quantitativa, observa-se que a distribuição entre os lados é relativamente equilibrada como mostra a Figura 11, apontando uma ausência de predominância marcante entre mama direita e esquerda.

Direcionando a análise em relação ao espaço temporal, evidencia-se um aumento progressivo no número de diagnósticos entre os anos de 2009 e 2013, em ambos os lados. No caso da mama direita, os registros passaram de 160 casos em 2009 para 641 casos em 2013, enquanto na mama esquerda houve um crescimento de 163 casos em 2009 para 584 casos em 2013. Em contrapartida, no ano de 2014 revela-se uma redução expressiva nos registros de nódulos para ambas as mamas. Isso ocorre, uma vez que os dados registrados no período correspondem de janeiro a abril de 2014, não representando todos os casos do ano.



### 3.3 MODELO DE MALTHUS

Para realizar uma modelagem estatisticamente mais consistente com a realidade dos dados, usaremos o total anual de caos, unificando mama direita e esquerda, como segue na Tabela 3.

Tabela 3 - Distribuição dos diagnósticos de nódulos mamários por lado da mama de 2009 a 2014.

Ano	Mama Direita	Mama Esquerda	Total de Casos
2009	160	163	323
2010	254	248	502
2011	411	408	819
2012	625	603	1.228
2013	641	584	1.225
2014*	33	27	60
Total	2.124	2.033	4.157

\* Dados referentes ao período de janeiro a abril de 2014.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do DataSUS/TabNet – SISMAMA, 2025.

Os valores dos diagnósticos totais de ambas as mamas, registrados anualmente na tabela, são valores inteiros, finitos e contáveis. Logo, caracterizam um conjunto discreto. Para constatar a tendência de crescimento, restringiremos os dados ao espaço temporal de 2009 a 2013, pois 2014 apresenta dados parciais. Formalmente, considerando como elementos os resultados totais anuais de diagnósticos, conclui-se o seguinte conjunto discreto:

$$D = \{323, 502, 819, 1228, 1225\}$$

O economista inglês Thomas Malthus (1766-183) apresentou em 1798, um dos modelos de crescimento populacional mais conhecido atualmente. O modelo malthusiano descreve fenômenos de crescimento populacional ou de uma quantidade ao longo do tempo, assumindo que a taxa de crescimento é proporcional ao tamanho atual da população ou quantidade analisada. Matematicamente, esse modelo parte da premissa de que, em condições ideais e na ausência de restrições externas, a população tende a crescer de forma proporcional ao seu tamanho, caracterizando um crescimento exponencial (BASSANEZI, 2002).

Esse modelo define o crescimento exponencial descritivo pressupondo que, à medida que a população aumenta, o acréscimo populacional torna-se cada vez maior no decorrer do tempo. Esse



comportamento reflete um processo cumulativo, no qual o crescimento futuro depende diretamente do tamanho populacional presente.

Considerando o aumento populacional em um período dado por:

$$\Delta P_n = P_{n+1} - P_n = rP_n. \quad (3.1)$$

Dessa forma, após  $n$  interações:

$$P_n = (1 + r)^n P_0 \quad (3.2)$$

A equação (3.3) resultante modela uma população que cresce segundo uma progressão geométrica, caracterizando um crescimento exponencial em tempo discreto. A soma  $(1+r)$  indica o multiplicador populacional a cada período, enquanto  $r$  representa a taxa percentual de crescimento por intervalo de tempo.

Voltando para o contexto dos diagnósticos anuais de nódulos mamários, os valores registrados constituem um conjunto discreto, o que torna o modelo malthusiano discreto apropriado para descrever o crescimento dos casos ao longo dos anos, para isso admite-se a hipótese de crescimento proporcional e ausência de fatores limitantes no período analisado.

Para esta pesquisa o  $P_n$  será representado por  $N_n$ . Realizando a aplicação e substituição na expressão resultante (3.2), para inserir os dados coletados, teremos:

$$N_n = (1 + r)^n \quad (3.3)$$

Onde:

- a)  $N_n$ : número total de diagnósticos no ano  $n$ , ou seja, após  $n$  períodos;
- b)  $N_0$ : número inicial de casos (2009 a 2013);
- c)  $r$ : taxa média de crescimento discreta anual;
- d)  $n$ : número de anos transcorridos desde o ano inicial;
- e)  $1 + r$ : fator de crescimento anual.

Para definir a taxa de crescimento discreta, na qual é o objeto da pesquisa desse trabalho, conforme a equação (3.3) deve-se isolar  $r$ . Como resultado, temos:



$$N_n = (1 + r)^n N_0 \rightarrow r = \left(\frac{N_n}{N_0}\right)^{\frac{1}{n}} - 1 \quad (3.4)$$

É possível, neste momento, aplicar os dados anuais totais coletados, na equação (3.5). Definindo  $N_0 = 323$  (2009),  $N_4 = 1225$  (2013) e  $n = 4$ . Obtém-se, então:

$$r = \left(\frac{1225}{323}\right)^{\frac{1}{4}} - 1 \rightarrow r \approx 0,3954 \quad (3.5)$$

Por fim, ao aplicar o modelo discreto malthusiano aos totais anuais de diagnósticos de nódulos mamários no período de 2009 a 2013, obteve-se uma taxa média de crescimento de  $r \approx 0,3954$ , o que corresponde aproximadamente 39,4% ao ano nesse período.

### 3.4 MODELO DE VERHULST

O modelo apresentado pelo matemático Pierre François Verhulst (1804-1849) em 1838, também conhecido como Modelo Logístico, foi elaborado como uma extensão do modelo malthusiano, onde incorpora fatores limitantes ao crescimento populacional. Em suma, Verhulst introduziu a equação de crescimento logístico onde a população cresce até um limite máximo sustentável, isto é, ela tende a se estabilizar. Ao contrário do crescimento exponencial ilimitado definido por Malthus, esse modelo considera que a taxa de crescimento diminui à medida que a população se aproxima de um valor máximo sustentável pelo ambiente, denominado capacidade de suporte (CONNOR; ROBERTSON, 2014).

Para prosseguirmos, considera-se  $D_n$  como o total de diagnósticos de nódulos mamários no ano  $n$ . A partir dos dados listados dos diagnósticos totais anuais, desconsidera-se o ano de 2014, uma vez que os dados se referem apenas ao período de janeiro a abril, o que comprometeria a homogeneidade temporal da análise.

Sendo assim, o conjunto de dados utilizado é:

- a)  $D_{2009} = 323$ ;
- b)  $D_{2010} = 502$ ;
- c)  $D_{2011} = 819$ ;
- d)  $D_{2012} = 1228$ ;
- e)  $D_{2013} = 1225$ .

Aplicando o modelo discreto de Verhulst e substituindo pelos dados propostos, tem-se a seguinte equação de recorrência:



$$D_{n+1} = D_n + rD_n \left(1 - \frac{D_n}{K}\right) \quad (3.6)$$

Onde:

- a)  $r > 0$  é a taxa de crescimento discreta;
- b)  $K$  representa a capacidade de suporte do sistema.

Para estimarmos a capacidade de suporte, é visto na tabela que o número de diagnósticos atinge o valor máximo em torno de 1.228 casos registrados, seguido de uma leve redução no ano seguinte. Dessa forma, adota-se como aproximação:

$$K \approx 1230.$$

Logo, isolando  $r$  na equação (3.6) do modelo para encontra a taxa de crescimento discreta dos diagnósticos totais anuais, temos:

$$r = \frac{D_{n+1} - D_n}{D_n \left(1 - \frac{D_n}{K}\right)} \quad (3.7)$$

Vale aplicar a equação (3.7) nos intervalos iniciais - fases de crescimento do processo, substituindo pelos dados do conjunto discreto. Temos:

- a) 2009 → 2010:

$$r_1 = \frac{D_{10} - D_9}{D_9 \left(1 - \frac{D_9}{K}\right)} \Rightarrow r_1 = \frac{502 - 323}{323 \left(1 - \frac{323}{1230}\right)} \approx 0,75$$

- b) 2010 → 2011:

$$r_2 = \frac{D_{11} - D_{10}}{D_{10} \left(1 - \frac{D_{10}}{K}\right)} \Rightarrow r_2 = \frac{819 - 502}{502 \left(1 - \frac{502}{1230}\right)} \approx 1,07$$

- c) 2011 → 2012:

$$r_3 = \frac{D_{12} - D_{11}}{D_{11} \left(1 - \frac{D_{11}}{K}\right)} \Rightarrow r_3 = \frac{1228 - 819}{819 \left(1 - \frac{819}{1230}\right)} \approx 1,49$$



d) 2012 → 2013:

$$r_4 = \frac{D_{13} - D_{12}}{D_{12} \left(1 - \frac{D_{12}}{K}\right)} \Rightarrow r_4 = \frac{1225 - 1228}{1228 \left(1 - \frac{1228}{1230}\right)} \approx -1,50.$$

No intervalo dos anos de 2012 → 2013 a substituição dos valores resultou em valor negativo de  $r$ , constata-se uma saturação do sistema e início de estabilização, sendo isso coerente ao comportamento do crescimento previsto por esse modelo logístico. Devido a isso, não usaremos esse intervalo para estimar a taxa intrínseca de crescimento dos diagnósticos de nódulos totais anuais.

Formularemos a taxa média de crescimento discreta para o período de 2009 a 2012, no qual é dito como o período de expansão, tem-se:

$$\bar{r} = \frac{r_1 + r_2 + r_3}{3} = \frac{0,75 + 1,07 + 1,49}{3} \approx 1,10.$$

Por fim, obtivemos a taxa média de crescimento discreta estimada pelo modelo de Verhulst na qual resultou em aproximadamente 1,10; isso corresponde um crescimento anual médio de cerca de 110% durante a fase inicial de expansão dos diagnósticos. Esse valor evidencia um crescimento acelerado no período analisado, seguido posteriormente por um processo de estabilização, conforme previsto pelo modelo logístico.

É fundamental destacar que essa porcentagem não é constante ao longo do período e nos anos finais (2012–2013) observa-se uma estabilização, o que reduz a taxa efetiva de crescimento. Portanto, o valor de 110% ao ano deve ser interpretado como uma taxa média da fase de expansão, e não como um crescimento sustentável indefinidamente.

### 3.5 MODELO DE TENDÊNCIA LINEAR – SÉRIE TEMPORAL

De acordo com Morettin e Toloí (2004), as séries temporais são conjuntos de observações ordenadas no tempo, que podem ser contínuas ou discretas. Diz-se que uma série é dita contínua quando as observações são feitas continuamente no tempo, porém, quando as medidas são tomadas em intervalos de tempo regularmente espaçados, a série é denominada discreta. Dessa forma, se difere dos modelos de Malthus e Verhulst uma vez que esse modelo parte do comportamento dos dados historicamente, e não de hipóteses biológicas explícitas.

Nas séries temporais, a regressão linear é utilizada para modelar a tendência de uma variável observada ao longo do tempo, considerando o tempo como variável explicativa. Geralmente, os dados



são discretos, pois são observados em instantes específicos do tempo, por exemplo, em anos, meses ou trimestres (BALBINOT *et al.* 2017).

Para determinar a série temporal que modele os dados totais anuais dos diagnósticos de nódulos mamários, define-se  $N$  uma série temporal discreta, em que:  $N_t$  representa o número total de diagnósticos no instante  $t$ ; e  $t = 0, 1, 2, \dots, n$  representa o tempo discreto, em anos.

Consideramos os dados observados (2009–2013) e redefinimos o tempo para facilitar os cálculos. Para esse modelo, temos esclarecidos na Tabela 4:

Tabela 4 – Dados para o modelo de Série Temporal.

Ano	(t)	$N_t$ (casos)
2009	0	323
2010	1	502
2011	2	819
2012	3	1.228
2013	4	1.225

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados do DataSUS/TabNet – SISMAMA, 2025.

Em séries temporais, a regressão linear é utilizada para modelar a tendência de uma variável observada ao longo do tempo, considerando o tempo como variável explicativa. O modelo a seguir é a reta de regressão definido exatamente para tempo discreto com tendencia linear:

$$N_t = at + b + \varepsilon_t \tag{3.8}$$

O método dos mínimos quadrados determina  $a$  e  $b$  minimizando:

$$\min \sum_{t=0}^4 (N_t - (at + b))^2 \tag{3.9}$$

Resolvendo separadamente os somatórios de tempo e dos casos, tem-se:

$$\sum t = 0 + 1 + 2 + 3 + 4 = 10$$

$$\sum t^2 = 0^2 + 1^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2 = 30$$

$$\sum N_t = 323 + 502 + 819 + 1228 + 1225 = 4097$$

Calculando somatórios cruzados:



$$\sum tN_t = (0)(323) + (1)(502) + (2)(819) + (3)(1228) + (4)(1225)$$

$$\sum tN_t = 0 + 502 + 1638 + 3684 + 4900 = 10\,724$$

Aplicando os resultados na equação (5.6). Obtém-se os coeficientes angulares:

$$a = \frac{5(10724) - 10(1097)}{5(30) - 10^2} = 253$$

Determinando a intercepção b:

$$b = \frac{4097 - 253 \times 10}{5} = 313,4$$

Substituindo os resultados dos parâmetros da equação (5.5). Logo, como resultado do modelo final, temos:

$$N_t = 253t + 313,4 \quad (3.10)$$

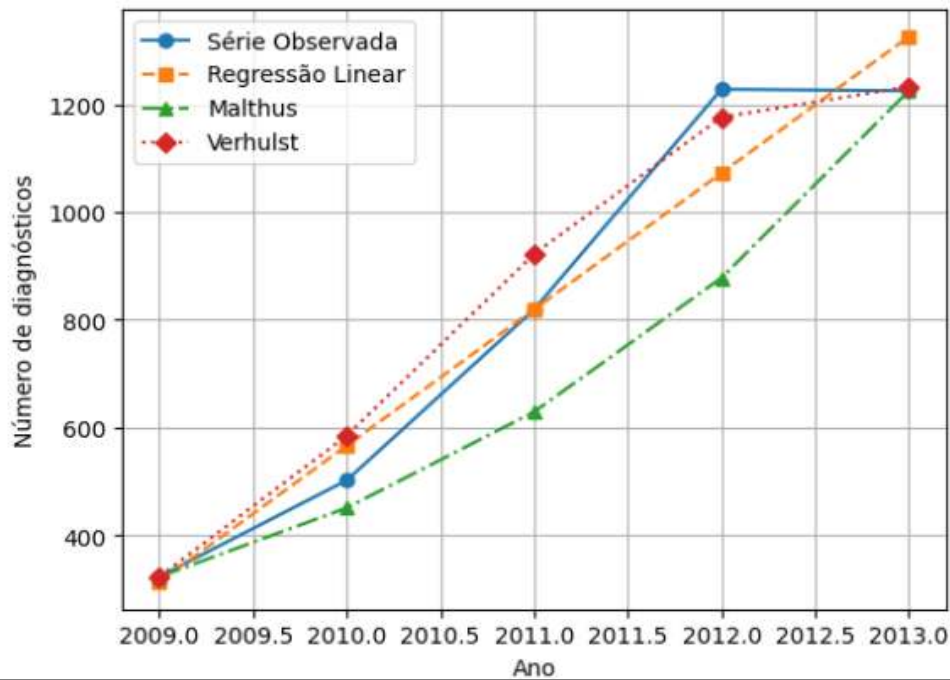
No modelo linear, a taxa média de crescimento anual é exatamente o coeficiente angular da regressão: 253 casos por ano. Em média, ao longo do período analisado, o número de diagnósticos de nódulos mamários aumentou cerca de 253 casos por ano, considerando um crescimento aproximadamente linear.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, a Figura 2 apresenta um gráfico comparativo dos modelos determinístico e o modelo de série temporal, pautando também o crescimento dos dados observados:



Figura 2 – Gráfico de comparação entre Série Temporal, Malthus e Verhulst.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A regressão linear descreve adequadamente a tendência média de crescimento, fornecendo uma estimativa objetiva do aumento absoluto anual dos casos. Entretanto, esse modelo não captura o processo de desaceleração observado no último ano da série. Com isso, a série temporal com tendência linear, a taxa de crescimento corresponde ao coeficiente angular da regressão, representando a variação média absoluta do número de diagnósticos por unidade de tempo. Então, o resultado expresso no gráfico, se trata de um crescimento absoluto médio, diferente dos outros modelos não é proporcional.

O modelo de Malthus, por assumir crescimento exponencial proporcional, ajusta-se aos valores inicial e final, mas subestima os diagnósticos nos anos intermediários, indicando limitação na representação de fenômenos sujeitos a variações estruturais. Já o modelo de Verhulst, ao incorporar uma capacidade de suporte, apresenta crescimento excessivamente restrito, distanciando-se dos valores observados, o que sugere que o limite adotado pode não refletir adequadamente a dinâmica real do sistema de diagnóstico.

Dessa forma, a análise de séries temporais mostra-se mais adequada para a descrição empírica dos dados, enquanto os modelos de Malthus e Verhulst contribuem para a interpretação teórica do crescimento e de possíveis limitações estruturais. Para expressar tais conclusões com mais clareza, observe a Tabela 5:



Tabela 5 – Comparação das taxas dos modelos usados.

Ano	Dados Observado	Regressão Linear	Modelo de Malthus	Modelo de Verhulst (K = 1230)
2009	323	313,4	323,0	323,0
2010	502	566,4	450,8	584,8
2011	819	819,4	629,0	922,1
2012	1.228	1.072,4	877,8	1176,0
2013	1.225	1.325,4	1.225,0	1232,8

Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos modelos usados na presente pesquisa.

Constata-se visualmente, que a série observada cresce rapidamente até 2012 e se estabiliza em 2013. A regressão linear acompanha bem a tendência média, mas superestima em 2013. Já o modelo de Malthus ajusta-se aos extremos, mas subestima os valores intermediários. Enquanto o modelo de Verhulst apresenta crescimento excessivamente superestimado no início, porém se aproxima nos anos finais dos dados reais. A análise dos diagnósticos anuais de nódulos mamários no Maranhão, no período de 2009 a 2013, evidencia o crescimento expressivo no número de casos ao longo da série temporal. Observa-se um aumento acentuado entre os anos de 2009 e 2012, seguido de uma estabilização em 2013, indicando possível aproximação de um limite operacional ou mudança no ritmo de crescimento dos diagnósticos.

O modelo de Malthus, fundamentado na hipótese de crescimento exponencial proporcional, evidenciou o ajuste igual aos valores inicial e final da série, mas subestimou os diagnósticos nos anos intermediários. Tal comportamento indica que o crescimento dos diagnósticos não ocorre de forma estritamente exponencial, sendo influenciado por fatores estruturais e operacionais do sistema de saúde que limitam a expansão contínua do processo diagnóstico.

Por sua vez, o modelo logístico de Verhulst, ao incorporar uma capacidade de suporte previamente definida ( $k=1230$  casos diagnosticados), resultou em estimativas iniciais que superestimou aos valores observados, mas especificamente nos anos finais da série houve uma estabilização que acompanhou aproximadamente os dados observados. Esse desvio sugere que o limite adotado para a capacidade de suporte pode não refletir adequadamente a dinâmica real do sistema de diagnóstico no período analisado, ou ainda que o crescimento observado foi impulsionado por fatores externos, como campanhas pontuais de rastreamento, que não são contemplados pelo modelo.

A regressão linear aplicada aos dados mostrou-se eficaz na descrição da tendência média de crescimento, indicando um incremento absoluto anual de aproximadamente 253 casos. Esse resultado sugere uma expansão contínua da detecção de nódulos mamários ao longo do período analisado,



possivelmente associada à ampliação do acesso aos exames de mamografia, ao fortalecimento das políticas públicas de rastreamento e à maior conscientização da população feminina quanto à importância do diagnóstico precoce. Entretanto, por se tratar de um modelo linear, a regressão não captura adequadamente a desaceleração observada no último ano da série, superestimando o número de diagnósticos em 2013.

De modo geral, os resultados indicam que a análise de séries temporais constitui a abordagem mais adequada para a descrição empírica dos dados, enquanto os modelos de Malthus e Verhulst contribuem para a compreensão teórica do comportamento do crescimento e de suas possíveis limitações. A discrepância entre os valores observados e os modelos matemáticos reforça a complexidade do fenômeno estudado e a necessidade de considerar múltiplas abordagens para a interpretação dos diagnósticos de nódulos mamários no contexto da saúde pública.

## 5 CONCLUSÃO

O modelo de Malthus permitiu identificar uma fase inicial de crescimento acelerado dos diagnósticos, caracterizando um comportamento exponencial compatível com períodos de expansão do rastreamento. Contudo, conforme previsto teoricamente, esse modelo mostrou-se limitado ao não considerar fatores restritivos, tornando-se insuficiente para descrever o comportamento dos dados em horizontes temporais mais amplos.

Em sequência, a aplicação do modelo discreto de Verhulst representou um avanço significativo na análise, ao incorporar a noção de capacidade de suporte do sistema. Os resultados indicaram um processo de crescimento seguido de desaceleração e estabilização, comportamento coerente com as limitações do sistema de saúde e com a saturação do número de diagnósticos anuais. Dessa forma, o modelo logístico mostrou-se mais adequado para representar a dinâmica observada no Maranhão.

A fim de complementação dos modelos, o uso do modelo de séries temporais possibilitou captar variações, oscilações e tendências presentes nos dados empíricos, funcionando como um instrumento de validação e refinamento dos modelos determinísticos. Essa abordagem evidenciou a importância de integrar métodos matemáticos teóricos com técnicas estatísticas, especialmente em estudos aplicados à epidemiologia.

Por fim, este estudo aprofunda o conhecimento sobre a importância da interdisciplinaridade entre Matemática e Saúde, evidenciando o papel da modelagem matemática como instrumento pedagógico e científico na análise de problemas reais. Como perspectivas futuras, sugere-se a ampliação da base de dados, atualização dos registros sobre casos de câncer de mama, a inclusão de variáveis socioeconômicas e regionais, bem como a aplicação de modelos mais complexos, a fim de aprimorar a compreensão do comportamento do câncer de mama no Maranhão.



**REFERÊNCIAS**

BASSANEZI, Rodney Carlos. **Equações diferenciais ordinárias**: um curso introdutório. (Coleção BC&T – UFABC. Textos Didáticos, v. 1). São Carlos: EdUFABC, 2022.

BASSANEZI, Rodney Carlos. **Modelagem Matemática**: teoria e prática. São Paulo: Contexto, 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. **DATASUS (Departamento de Informática do SUS). c2008**. Disponível em: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php>. Acesso em: 06 abr. 2024.

CONNOR, J. J; ROBERTSON, E. F. **Pierre François Verhulst**: Byography. MacTutor. 2014. Disponível em: <https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Verhulst/> Acesso em: 16 mar. 2026.

GRUPO CARE ANESTESIA. **Câncer de mama**: quais os sintomas – perguntas e respostas para você saber tudo sobre a doença. Blog Grupo Care Anestesia, 10 abr. 2024. Disponível em: <https://grupocareanestesia.com.br/cancer-de-mama-quais-os-sintomas/>. Acesso em: 28 dez. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. **ABC do câncer**: abordagens básicas para o controle do câncer. 6. ed. Rio de Janeiro: INCA, 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA (INCA). **Estimativa 2020**: incidência de câncer no Brasil. Rio de Janeiro: INCA, 2019.

IPÁCIO, Alexandro et al. **Comparação do câncer de mama no Maranhão e no Brasil de 2012 a 2022**. Revista de Gestão Social e Ambiental, Miami, v. 19, n. 2, p. 1–17, 2025.

KUMAR, Vinay; ABBAS, Abul K.; ASTER, Jon C. **Robbins e Cotran: patologia – bases patológicas das doenças**. 10. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2021.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de Séries Temporais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

PIMENTEL, Mara. **Perfil de mulheres diagnosticadas com câncer de mama atendidas em hospital de referência em oncologia no município de São Luís – MA. 2014**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2014.

SILVA, Pamella Araújo da; RIUL, Sueli da Silva. **Câncer de mama: fatores de risco e detecção precoce**. Revista Brasileira de Enfermagem, v. 64, p. 1016–1021, 2011.

