

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

NATHÁLIA BALAN FEITOZA

Estimativa de risco de câncer radioinduzido correlacionado
com doses efetivas em exames de mamografia

Uberlândia

2025

NATHÁLIA BALAN FEITOZA

Estimativa de risco de câncer radioinduzido correlacionado
com doses efetivas em exames de mamografia

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Biomédica.

Orientador: Ana Cláudia Patrocínio

Uberlândia

2025

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

F311 2025	<p>Feitoza, Nathália Balan, 2001- Estimativa de risco de câncer radioinduzido correlacionado com doses efetivas em exames de mamografia [recurso eletrônico] / Nathália Balan Feitoza. - 2025.</p> <p>Orientadora: Ana Cláudia Patrocínio. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em Engenharia Biomédica. Modo de acesso: Internet. Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Engenharia biomédica. I. Patrocínio, Ana Cláudia, 1974-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em Engenharia Biomédica. III. Título.</p> <p>CDU: 62:61</p>
--------------	---

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

NATHÁLIA BALAN FEITOZA

Estimativa de risco de câncer radioinduzido correlacionado
com doses efetivas em exames de mamografia

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Biomédica.

Uberlândia, 06 de maio de 2025.

Banca Examinadora:

Ana Cláudia Patrocínio – Professora Doutora (FEELT/UFU)

Pedro Cunha Carneiro – Professor Doutor (FEELT/UFU)

Lucas de Brito Silva – Mestre (FEELT/UFU)

Dedico este trabalho à minha família e
especialmente aos meus pais, pelo
estímulo, carinho e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à professora Ana Cláudia pelo incentivo dado durante a graduação e aos importantes estímulos ao desenvolvimento do meu conhecimento na profissão, além da importante oportunidade de me aprofundar nesta área tão relevante para a Engenharia Biomédica.

Aos amigos e colegas que fizeram parte dessa jornada, expresso minha gratidão aos incentivos, principalmente o companheirismo, que foram essenciais para que eu me motivasse e progredisse no meu caminho.

Agradeço também aos coordenadores e demais professores do curso ao longo da minha graduação, que prestaram apoio para que eu conquistasse meus objetivos.

Agradeço, por fim, à minha família, fonte de todo o apoio mais essencial e genuíno, fonte de inspiração e motivação. Por mim e por eles eu fiz, com o incansável suporte que só os pais podem proporcionar.

“A educação não apenas amplia os horizontes das pessoas e lhes apresenta oportunidades que, de outra forma, nunca sonhariam em ter. Ela contraria os efeitos prejudiciais da injustiça sistêmica”

Lewis Hamilton

RESUMO

Este trabalho tem como propósito principal avaliar as doses efetivas em exames de mamografia, estabelecendo critérios comparativos com recomendações de agências internacionais e nacionais a respeito do tema, avaliando a conformidade com as legislações visando a garantia de segurança do paciente e o acesso a exames de qualidade. Além disso, estimar o risco de câncer radioinduzido de acordo com os programas de mamografia de rastreamento. Para isso, foram analisados dados de dose glandular média (DGM) de 194 imagens mamográficas distribuídas em exames de 33 pacientes diferentes e estimados dados, seguindo a recomendação de programa de rastreamento da Sociedade Brasileira de Mastologia (SBM) do risco de câncer radioinduzido ao longo da vida das pacientes analisadas, com o *XRay Risk Calculator*. As análises realizadas foram capazes de apontar doses extrapolando negativamente os limites recomendados pelas agências na avaliação de dose e apontaram uma relação de risco de câncer radioinduzido baixa no cálculo de risco, apontando para uma relação benéfica para programas de mamografia de rastreamento.

Palavras-chave: dose glandular média, mamografia de rastreamento, *XRay Risk Calculator*, risco de câncer radioinduzido.

ABSTRACT

The main purpose of this study is to evaluate the effective doses in mammography exams, establishing comparative criteria with recommendations from international and national agencies on the subject, assessing compliance with legislation aiming at ensuring patient safety and access to quality exams. In addition, to estimate the risk of radiation-induced cancer according to screening mammography programs. For this purpose, data on the mean glandular dose (MGD) of 194 mammographic images distributed in exams of 33 different patients were analyzed and data estimated, following the recommendation of the screening program of the Brazilian Society of Mastology (SBM) of the risk of radiation-induced cancer throughout the lives of the patients analyzed, with the XRay Risk Calculator. The analyses carried out were able to indicate doses negatively extrapolating the limits recommended by the agencies in the dose assessment and indicated a low risk ratio of radioinduced cancer in the risk calculation, indicating a beneficial relationship for screening mammography programs.

Keywords: mean glandular dose, screening mammography, XRay Risk Calculator, radiation-induced cancer risk.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Interface da plataforma Ambra Health	26
Figura 2 – Exemplo de visualização das informações DICOM da imagem no ImageJ	27
Figura 3 – Interface do XRay Risk Calculator para mamografia	30
Figura 4 – Diagrama resumo da metodologia	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites de doses glandulares média recomendados	28
Tabela 2 – Distribuição das pacientes por idade	32
Tabela 3 – Distribuição das pacientes por espessura de mama	33
Tabela 4 – Médias de DGM por faixa etária	35
Tabela 5 – Risco adicional médio por faixa etária	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BEIR VII	<i>Biological Effects of Ionizing Radiation VII</i>
BI-RADS	<i>Breast Imaging Reporting and Data System</i>
CC	Crânio-caudal
DGM	Dose glandular média
DICOM	<i>Digital Imaging and Communications in Medicine</i>
IAEA	<i>International Atomic Energy Agency</i>
ICRP	<i>International Commission on Radiological Protection</i>
ICRU	<i>International Commission on Radiation Units and Measurements</i>
kVp	Pico de quilovoltagem
LNT	Princípio linear sem limiar
mAs	Miliampére por segundo
mGy	Miligray
MLO	Médio-lateral oblíqua
mSv	Milisievert
NCR	<i>National Research Council</i>
NEMA	<i>National Electrical Manufacturers Association</i>
OMS	Organização Mundial de Saúde
PACS	<i>Picture Archiving and Communication System</i>
PNQM	Programa Nacional de Qualidade em Mamografia
SBM	Sociedade Brasileira de Mastologia
Sv	Sievert
SUS	Sistema Único de Saúde
UFU	Universidade Federal de Uberlândia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1. JUSTIFICATIVAS.....	14
1.2. OBJETIVO GERAL	14
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1. ESTADO DA ARTE.....	16
2.2. RADIAÇÃO IONIZANTE	17
2.3. MAMOGRAFIA.....	18
2.4. MODELO BEIR VII	19
2.5. DOSE EFETIVA E DOSE GLANDULAR MÉDIA	21
2.6. SOFTWARE XRAY RISK CALCULATOR	22
2.7. DIGITAL IMAGING AND COMMUNICATIONS IN MEDICINE (DICOM)...	23
3. METODOLOGIA.....	25
3.1. EXTRAÇÃO DOS DADOS	26
3.2. AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE COM REGULAMENTAÇÕES	27
3.3. CÁLCULO DO FATOR DE RISCO BASE E ADICIONAL	29
3.4. DIAGRAMA RESUMO.....	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1. PACIENTES E EXAMES ANALISADOS	32
4.2. DOSES EFETIVAS	33
4.3. RISCO DE CÂNCER RADIOINDUZIDO	37
5. CONCLUSÃO.....	41

1. INTRODUÇÃO

Entre as neoplasias malignas, o câncer de mama se apresenta como a mais incidente até hoje entre as mulheres no mundo, com números surpreendentes como 1 em cada 8 mulheres desenvolvendo-a ao longo da vida. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), no ano de 2020 foram diagnosticados aproximadamente 2,3 milhões de novos casos da neoplasia, chegando a cerca de 11,7% de todos os cânceres registrados no ano (WHO, 2021).

Já no Brasil, segundo o Instituto Nacional de Câncer (INCA), estima-se 73.610 novos casos para o triênio de 2023 a 2025, com um risco de incidência de 66,54 casos para cada 100 mil mulheres, demonstrando o quão atual e relevante permanece o tema. Ainda, o INCA estima um risco de incidência maior na região Sudeste, representando 84,46 casos por 100 mil mulheres (INCA, 2023). Quanto aos efeitos desse câncer, o fator de risco para mulheres aumenta significativamente a partir da faixa etária dos 40 anos, chegando nos ápices de incidência na faixa de 50 a 69 anos (INCA, 2023).

Neste contexto em que essa neoplasia se apresenta com alta incidência e com fatores de risco altos, a mamografia é reconhecidamente o método mais eficaz para a detecção precoce da neoplasia, principalmente para tumores muito pequenos, reduzindo em cerca de até 30% a mortalidade por câncer de mama em mulheres acima de 50 anos (NELSON et al., 2016). Entretanto, apesar dos reconhecidos benefícios promovidos por esta modalidade de exame, a exposição à radiação ionizante emitida durante a mamografia gera preocupações devido ao potencial aumento do risco de desenvolver uma neoplasia. Isso se correlaciona com o fato de que mesmo doses baixas podem aumentar o risco, como ressalta a OMS, ainda classificando a radiação ionizante como carcinogênica do Grupo 1 (WHO, 2016).

Segundo o posicionamento da *International Commission on Radiological Protection* (ICRP), que tem papel de extrema importância no cenário de proteção radiológica mundial, a relação risco-benefício da mamografia deve ser avaliada, bem como de outros exames de imagens, e que os benefícios devem superar o risco, principalmente levando em consideração o risco cumulativo de radiação (ICRP, 2007).

Estudos recentes tentam estimar o impacto de exames mamográficos anuais com relação ao aumento de casos de câncer radioinduzido. Estima-se que exame de

mamografia digital bilateral está associado a um risco de induzir câncer de mama fatal de 1,3 a 1,7 casos em 100.000 mulheres com 40 anos de idade no momento da exposição e de menos de um caso em um milhão em mulheres com 80 anos de idade no momento da exposição. (HENDRICK et al., 2019). Esse risco é influenciado por diversos fatores como idade da paciente no momento da exposição, quantidade de radiação recebida durante o exame, frequência de exames e parâmetros técnicos do equipamento (HENDRICK et al., 2019). Assim, levando em consideração esse risco, embora ele seja pequeno em comparação ao benefício do diagnóstico precoce, se faz necessário um rigoroso controle das doses administradas durante os exames.

A dose efetiva é um parâmetro crítico para avaliar o equilíbrio entre risco e benefício que é debatido entre as agências reguladoras, pois quantifica a exposição ponderada pela radiosensibilidade dos tecidos (ICRP, 2007). Para as mamografias, a dose glandular média (DGM) se apresenta como uma derivação desse parâmetro, levando em consideração o kerma incidente no ar e coeficientes de conversão. Essa medida é muito utilizada como parâmetro nos protocolos de controle de qualidade estabelecidos por agências, como a *International Atomic Energy Agency* (IAEA), para mamografias (IAEA, 2009). O ICRP reforça e estabelece que para mulheres acima de 40 anos, o benefício do rastreamento supera os riscos, desde que respeitados os limites recomendados de dose por projeção (ICRP, 2007).

No contexto do Brasil, a RDC 611/2022 incorporou estes parâmetros, exigindo controle rigoroso de qualidade nos equipamentos como por exemplo sistemas de controle automático de exposição (AEC) e monitoramento contínuo da dose (BRASIL, 2019). Ainda, a Portaria SVS/MS nº 453/1998 complementa a RDC ao estabelecer diretrizes gerais para a proteção radiológica, incluindo a necessidade de justificção clínica para cada exame e a limitação de doses para pacientes e trabalhadores (BRASIL, 1998). Ela reforça o importante princípio ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) que visa minimizar a exposição dos trabalhadores e do público às radiações ionizantes, alinhando-se às recomendações da ICRP.

Nesse sentido, a OMS recomenda que serviços de mamografia realizem auditorias periódicas, comparando as doses reais administradas com referenciais internacionais (WHO, 2016). Diante de todo esse contexto, entende-se a importância do controle da dose efetiva em mamografias de rastreamento, a fim de minimizar o aumento do risco de câncer radioinduzido.

1.1. JUSTIFICATIVAS

Reconhecidamente a mamografia é o principal exame de diagnóstico de câncer de mama e sua importância é significativa na redução de mortalidade por esse tipo de neoplasia (NELSON et al., 2016). Portanto, para que na sua relação risco benefício se mantenha benéfica, ela deve seguir padrões rigorosos de qualidade a fim de garantir a segurança de pacientes, limitando os riscos inerentes à exposição à radiação ionizante. Além disso, o Programa Nacional de Qualidade em Mamografia (PNQM) de 2009 busca uniformizar a qualidade dos exames no território nacional, incluindo a conformidade com os padrões recomendados pelas agências responsáveis.

Nesse contexto, tendo em vista a necessidade de assegurar a qualidade dos exames de mamografia, conforme indicado pelo PNQM, e de acompanhar o cenário real nacional levando em consideração suas variabilidades, a justificativa do trabalho se baseia em manter o controle de qualidade exigido pelas agências reguladoras em equipamentos mamográficos do país, levando em consideração todo o risco associado à exposição à radiação ao paciente submetido aos exames.

1.2. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise de parâmetros de dose de mamografias realizadas na região Sudeste do país, a partir de uma amostra de um hospital de referência de São Paulo/SP, extraindo suas informações a partir das informações do protocolo DICOM associado à imagem.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a conformidade da DGM de mamografias de rastreamento realizadas na região Sudeste com legislações brasileiras e padrões internacionais;
- Observar a diferença de doses em mamografias realizadas com mulheres de faixas etárias diferentes;
- Estimar o risco de câncer associado à exposição à radiação de acordo com a faixa etária seguindo um plano de rastreamento de grande exposição à radiação.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. ESTADO DA ARTE

A mamografia representa hoje o principal método de rastreamento do câncer de mama, com importância significativa na redução de mortalidade (cerca de até 30%) por esse tipo de neoplasia em mulheres de 50 a 69 anos (INCA, 2023). Entretanto, por ser uma técnica que utiliza radiação ionizante, deve-se atentar aos efeitos estocásticos que essa radiação pode causar no corpo humano, especialmente quando considerada a exposição cumulativa resultante de programas de rastreamento de longo prazo (ICRP, 2007).

Organizações internacionais como a ICRP e OMS disponibilizam importantes diretrizes para minimizar a exposição à radiação com foco em princípios como o ALARA, baseando suas recomendações principalmente no uso de equipamentos modernos e seguindo protocolos otimizados.

No Brasil especificamente, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) é a grande responsável, por meio da Resolução RDC nº 611/22, Portaria SVS/MS nº 453/1998 e Instrução Normativa nº 91/2021, por estabelecer referências de dose e padrões de manutenção, além de exigir testes de controle de qualidade para garantir a segurança de pacientes e profissionais expostos à radiação durante os exames. Com isso, é possível assegurar a qualidade da imagem, cumprindo com seu papel de diagnóstico e monitoramento, além de preservar ao máximo a saúde de todos os envolvidos nos processos de radiodiagnóstico (BRASIL, 2022).

O *XRay Risk Calculator* se mostra como uma ferramenta acessível para realizar rapidamente uma estimativa personalizada do risco de câncer radioinduzido, aplicando o modelo linear sem limiar (LNT) do BEIR VII (XRAYRISK, 2025). Esse *software* foi desenvolvido por pesquisadores da *Harvard Medical School* a partir do modelo BEIR VII. Ele leva em consideração variáveis críticas e relevantes para a estimativa do risco do câncer radioinduzido como: sexo, dose recebida (em mGy), idade na exposição e o histórico particular de exames prévios já realizados (XRAYRISK, 2025).

Esse *software* é capaz de fornecer estimativas em concordância com modelos epidemiológicos de pessoas expostas à radiação, principalmente por utilizar como

base o modelo BEIR VII (NRC, 2006). Diante desse contexto e do contexto brasileiro, onde o SUS realiza aproximadamente 4 milhões de mamografias anualmente (DATASUS, 2023), essa ferramenta se torna uma alternativa relevante para avaliações de risco populacional e para confirmar que os benefícios de diagnóstico precoce se sobrepõem ao risco associado à exposição à radiação.

Segundo a pesquisa realizada por Hendrick, mulheres submetidas a mamografias anuais dos 40 aos 70 anos podem acumular doses glandulares de 50-100 mGy, correspondendo a um adicional de risco de 0,5-1,5% para câncer de mama (HENDRICK et al., 2022). Esse risco varia significativamente conforme a faixa etária, com mulheres de 40 a 49 anos apresentando risco relativo duas vezes maior, enquanto para as mulheres acima de 70 anos, essas apresentam risco aproximadamente 50% menor (ICRP, 2007). Tais dados reforçam a importância da individualização por faixas etárias da avaliação da relação risco benefício.

Além disso, a integração de ferramentas de avaliação de risco como o *XRay Risk Calculator* com dados DICOM tem sido explorada (TEE, 2010). Os arquivos DICOM conseguem armazenar informações essenciais como kVp, mAs e tempo de exposição, permitindo cálculos automatizados de dose glandular média (DGM), fornecendo diretamente os valores estimados de dose no órgão. Essa abordagem possibilita auditorias, identificando serviços com doses acima do percentual recomendado e priorizando ações corretivas para garantir a segurança dos pacientes e profissionais.

As limitações do *XRay Risk Calculator* incluem a não consideração de fatores individuais como densidade mamária e predisposição genética. Quanto maior a densidade e espessura da mama, recomenda-se uso de doses superiores que doses para mamas menos densas para que a penetração da radiação para melhor representação na imagem mamográfica (FICO et al., 2023). Esse aspecto reforça a necessidade de complementar a ferramenta com avaliações clínicas individualizadas.

2.2. RADIAÇÃO IONIZANTE

A radiação ionizante, presente nos exames de mamografia, tem a capacidade de, ao interagir com os seres humanos, causar danos biológicos como alterações no

DNA e em outras estruturas celulares. Isso se deve ao fato de possuir energia capaz de remover elétrons dos átomos, criando um par de íons. Após isso, reações químicas são desencadeadas, podendo resultar nos danos citados (SOUSA, 2025).

Visto que os raios X e gama, no espectro eletromagnético, possuem energia suficiente para ionizar átomos a partir de uma única interação, é de extrema importância para os exames mamográficos, que utilizam raios X, compreender as possíveis consequências dessa interação entre paciente e radiação (SOUSA, 2025). Assim, toda interação é capaz de causar danos biológicos de efeitos variados. Entretanto, o risco de câncer relacionado a essas interações depende da dose, tempo de exposição, idade e sensibilidade dos tecidos (INCA, 2022).

2.3. MAMOGRAFIA

A mamografia é considerada o método padrão-ouro para o rastreamento e diagnóstico precoce do câncer de mama e amplamente reconhecida, reduzindo a mortalidade em até 30% em mulheres entre 50 e 69 anos (NELSON et al., 2016). Esse exame consiste na utilização de raios X de baixa energia para visualizar as estruturas mamárias, visando identificar microcalcificações, nódulos e outros possíveis indícios de malignidade. A técnica baseia-se na diferença de atenuação da radiação incidida entre tecido glandular, adiposo e lesões, diferenciando a composição da mama. Tumores e microcalcificações (possível indicativo de presença de câncer) tendem a absorver mais radiação do que a gordura ou o tecido fibroglandular normal (FICO et al., 2023).

A dose glandular média (DGM) é o parâmetro geral mais utilizado para avaliar a segurança da mamografia, com um limite internacional recomendado de 2,5 mGy por projeção em mamas padrão (com 4,5 cm de espessura) (IAEA, 2009). No entanto, fatores como espessura da mama, densidade tecidual e tipo de equipamento podem influenciar a dose administrada, com limites recomendados a partir de 1 mGy por projeção (IAEA, 2009). Mulheres com mamas densas (BI-RADS C/D) podem receber doses mais elevadas devido à necessidade de maior penetração dos raios X. Essa densidade também é influenciada pela faixa etária (HENDRICK et al., 2019).

No contexto do Brasil, essas recomendações de DGM são mais conservadoras, estipulando uma dose máxima de 1,6 mGy para mamas padrão, porém com variações de 0,6 a 3,6 mGy a depender da densidade e espessura da mama (BRASIL, 2021). Essas recomendações levam em consideração a própria realidade nacional, contendo um acesso diverso aos exames de rastreamento e com densidades muito diversificadas. Estratégias como PNQM e a integração de sistemas de auditoria são essenciais para garantir exames seguros e eficazes em todo o território nacional (INCA, 2023).

Quanto ao programa de mamografia de rastreamento no país, este recomenda que a mamografia seja realizada a partir de 50 anos, segundo a cobertura do Sistema Único de Saúde (SUS). Entretanto, a partir de estudo realizado pela Sociedade Brasileira de Mastologia (SBM) debate essa ideia, sugerindo que o programa seja alterado para a partir de 40 anos, especialmente se considerada as condições do país. Dados de 2010 apontam que, dos casos registrados, a incidência de câncer de mama foi 2 vezes maior nos países em desenvolvimento do que nos desenvolvidos para mulheres na faixa etária abaixo dos 50 anos. Além disso, em estudo nacional realizado em Goiânia, essa faixa etária representou cerca de 42% dos novos casos diagnosticados. Neste contexto, a SBM recomenda a realização de mamografias de rastreamento anuais na faixa etária de 40 a 69 anos (SBM, 2012).

2.4. MODELO BEIR VII

O modelo BEIR VII (*Biological Effects of Ionizing Radiation VII*), que foi desenvolvido pelo *National Research Council* (NCR) dos Estados Unidos em 2006, representa um consenso científico atualizado e muito utilizado sobre os efeitos biológicos da radiação ionizante em baixas doses, que é o tipo de radiação emitida durante mamografias. Este relatório foi elaborado por um comitê multidisciplinar e baseou-se em uma revisão de estudos epidemiológicos e experimentais (NRC, 2006). O BEIR VII atualizou as estimativas de risco anteriores à sua publicação, incorporando novos dados reais referentes a humanos expostos à radiação, incluindo principalmente sobreviventes das bombas atômicas, pacientes submetidos a exames médicos e trabalhadores da indústria nuclear (NRC, 2006).

O aspecto mais significativo do modelo BEIR VII é sua adoção do princípio linear sem limiar (LNT) para estimar o risco de câncer induzido por radiação. Segundo este princípio, não existe um nível seguro de exposição à radiação, sendo toda exposição considerada um fator de risco. Ademais, o risco de desenvolver câncer aumenta linearmente com a dose recebida, mesmo em níveis muito baixos (NRC, 2006). O modelo implica 1 caso adicional de câncer radioinduzido a cada 1.000 pessoas expostas a 100 mGy de radiação (NRC, 2006).

O BEIR VII faz uma diferenciação dos níveis de risco por tipo de câncer, idade na exposição e sexo. Para o câncer de mama, o relatório indica que mulheres expostas antes dos 40 anos apresentam maior risco relativo, devido à maior sensibilidade do tecido mamário nessa faixa etária (NRC, 2006). Outro importante fator considerado pelo modelo são os efeitos da dose fracionada. Ele sugere que o risco pode ser menor quando a mesma dose total é administrada em múltiplas exposições ao longo do tempo do que com uma única exposição aguda (NRC, 2006). Isso é de extrema importância para analisar criticamente o programa de rastreamento mamográfico periódico e analisar seus impactos.

Outra contribuição relevante do BEIR VII foi a incorporação de dados sobre mecanismos moleculares de dano radioinduzido, complementando as evidências epidemiológicas que serviram de base para a criação do modelo, sendo considerado um modelo muito robusto (NRC, 2006). Com esses mecanismos, é possível explicar por que alguns tecidos, como a mama, são mais sensíveis à radiação do que outros, e por que o risco varia com a idade na exposição, apontando também os principais fatores a serem considerados para estimativas de risco acumulado (NRC, 2006).

O modelo BEIR VII tem sido amplamente utilizado como referência para estabelecer padrões de proteção radiológica e suas estimativas de risco são referência para muitas das recomendações. Agências como a ICRP, por exemplo, utilizam os mesmos dados epidemiológicos base para definir suas recomendações (ICRP, 2007). Na mamografia, o BEIR VII fornece os parâmetros fundamentais para calcular o risco-benefício dos programas de rastreamento, ajudando a determinar faixas etárias ideais e intervalos entre exames, maximizando os benefícios diagnósticos e minimizando os riscos associados à radiação.

Ele se mostra como o modelo mais abrangente e amplamente aceito para estimativa de riscos à saúde associados à radiação ionizante. Suas conclusões de

2006 continuam a guiar decisões clínicas e políticas públicas em radiologia diagnóstica, incluindo o desenvolvimento de protocolos de mamografia mais seguros.

2.5. DOSE EFETIVA E DOSE GLANDULAR MÉDIA

A dose efetiva é um conceito fundamental na radioproteção. Foi introduzido e oficializado pela ICRP a fim de quantificar o risco de efeitos estocásticos da radiação ionizante em todo o corpo humano e os prejuízos relativos nos tecidos. Essa medida pondera a dose absorvida por diferentes tecidos, considerando sua radiosensibilidade e o tipo de radiação envolvida (ICRP, 2007). Com isso, a abordagem pela dose efetiva permite quantificar de forma mais precisa os potenciais efeitos biológicos da radiação, por justamente levar em consideração a ponderação do tecido. Além disso, a ICRP destaca que a dose efetiva varia na distribuição etária geral para os pacientes submetidos a procedimentos médicos usando radiação ionizante e para gêneros diferentes (ICRP, 2007).

A avaliação dos riscos em procedimentos médicos que utilizam radiação ionizante deve ser realizada considerando valores de risco específicos para os tecidos afetados, bem como a distribuição por idade e sexo dos pacientes. A dose efetiva se mostra útil para comparar as doses entre diferentes exames diagnósticos, além de permitir a análise comparativa de técnicas similares em diversas instituições e países, ou de diferentes tecnologias empregadas no mesmo tipo de exame médico (ICRP, 2007).

Esse parâmetro introduzido pela ICRP derivou-se em diversas outras métricas importantes utilizadas na área de radioproteção. Em mamografias, a dose glandular média (DGM) é o principal parâmetro dosimétrico utilizado para avaliar a exposição à radiação. Esta grandeza representa a dose média absorvida pelo tecido glandular da mama, que é um tecido muito radiosensível. O relatório destaca que a DGM deve ser calculada considerando fatores como a energia do feixe de raios X, a espessura da mama e a composição do tecido (proporção entre tecido glandular e adiposo), utilizando modelos computacionais validados (ICRU, 2005).

Assim como outras agências, a *International Commission on Radiation Units and Measurements* (ICRU) destaca a DGM como uma ferramenta importante para a

otimização de doses em mamografia, permitindo equilibrar a qualidade da imagem diagnóstica com a minimização da exposição à radiação, além de defender que os valores de DGM sejam regularmente monitorados e comparados com níveis de referência diagnóstica, como forma de garantir a segurança dos pacientes sem comprometer a eficácia clínica do exame (ICRU, 2005). No Brasil, a DGM é um dos parâmetros avaliados nos programas de controle de qualidade de mamografias, e deve ser avaliada anualmente segundo a Instrução Normativa nº92 (BRASIL, 2021).

2.6. SOFTWARE XRAY RISK CALCULATOR

O *X-Ray Risk Calculator* é uma ferramenta gratuita desenvolvida para estimar os riscos associados à exposição à radiação ionizante em decorrência de exames de imagem como radiografias, mamografias e tomografias computadorizadas. Essa ferramenta se baseia em modelos epidemiológicos e o modelo BEIR VII, utilizando coeficientes de risco derivados desses estudos populacionais a fim de quantificar a probabilidade de desenvolvimento de câncer radioinduzido (XRayRisk, 2025).

A radiação ionizante, mesmo em baixas doses, é capaz de danificar o DNA celular, podendo aumentar o risco de mutações carcinogênicas (SOUZA, 2025). O *X-Ray Risk Calculator* então emprega dados de dose efetiva (medida em milisieverts - mSv) para os diferentes exames médicos correspondentes, correlacionando-os com aumentos percentuais no risco de câncer radioinduzido ao longo da vida. Essa abordagem do cálculo do risco se baseia em pesquisas que demonstram uma relação linear sem limiar (LNT) entre dose e efeito, além dos efeitos da dose acumulada ao longo da vida, especialmente em baixas doses de radiação (NRC, 2006).

O *X-Ray Risk Calculator* também considera variáveis como idade, sexo e região do corpo exposta, fatores esses que influenciam diretamente a suscetibilidade do indivíduo ao câncer (ICRP, 2007). Além disso, a ferramenta se baseia em recomendações de órgãos reguladores, como a *International Atomic Energy Agency* (IAEA) e a OMS, que estabelecem diretrizes para limites seguros de exposição (IAEA, 2014).

Por fim, essa ferramenta tem como objetivo principal a tomada de decisão informada, permitindo o equilíbrio entre os benefícios diagnósticos e os riscos

potenciais da exposição à radiação (XRayRisk, 2023). A transparência na divulgação dos riscos é um ponto importante para a justificação e otimização de procedimentos radiológicos, princípios que são fundamentais na proteção radiológica (ICRP, 2007).

No entanto, existem controvérsias e críticas ao modelo LNT. Algumas linhas de pesquisa apontam que baixas doses de radiação podem ter risco insignificante, pautado nos mecanismos de reparo celular (ICRP, 2007). Apesar disso, o *X-Ray Risk Calculator* mantém uma abordagem conservadora, priorizando a precaução na avaliação de riscos.

2.7. DIGITAL IMAGING AND COMMUNICATIONS IN MEDICINE (DICOM)

O *Digital Imaging and Communications in Medicine* (DICOM) é um padrão internacional que foi criado em 1993 para garantir a interoperabilidade entre sistemas de imagens médicas, permitindo e facilitando o armazenamento, a transmissão e o processamento de exames radiológicos (LAROBINA; MURINO, 2019). Desenvolvido pela *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA) em colaboração com a *American College of Radiology* (ACR), o DICOM padroniza não apenas protocolos de comunicação como também formatos de arquivos, permitindo a integração entre equipamentos de diferentes fabricantes e a interpretação adequada por diversos profissionais (DICOM STANDARD, 2023).

Com a evolução do DICOM e dos outros protocolos de informação em saúde, ele é capaz de registrar informações técnicas dos exames, como parâmetros de exposição, modelo do equipamento e dose de radiação absorvida pelo paciente (DICOM PS3.3, 2023). Entre esses dados, destaca-se o *Organ Dose*, que quantifica a energia depositada pela radiação em tecidos específicos como mamas, pulmões e tireoide, a partir do procedimento ministrado. Esse parâmetro é essencial para avaliações de risco em radiologia diagnóstica, especialmente em exames que são realizados com uma certa frequência como a mamografia (ICRP, 2007). Também destaca-se o *Body Part Thickness*, que fornece a espessura da parte do corpo analisada.

Em equipamentos digitais modernos, estes já incorporam *softwares* que estimam automaticamente a dose glandular média (DGM), que é um subtipo de *Organ*

Dose específica para as mamografias, seguindo diretrizes da IAEA (IAEA, 2009). O cálculo considera fatores como espessura da mama, distribuição de tecido glandular e adiposo, além da geometria do feixe de raios X. Algoritmos como os desenvolvidos pelo ACR utilizam fantasmas computacionais, que são modelos virtuais de mamas, para extrapolar e estimar dados de dosimetria em diferentes protocolos (DANCE et al., 2011). Esses valores são armazenados nos endereços DICOM (*tags* específicas, como 0040,0300 para dose efetiva no órgão), permitindo auditorias de qualidade e otimização de doses (DICOM PS3.15, 2023).

A padronização DICOM também viabiliza a integração de sistemas de *Dose Structured Reporting* (DSR), que geram relatórios automáticos de dose por exame, facilitando o cumprimento das normas da ANVISA no Brasil. Esses relatórios são de extrema importância para programas de controle de qualidade, assegurando que as doses administradas estejam dentro dos limites recomendados (IAEA, 2014).

3. METODOLOGIA

Neste trabalho foi analisada a conformidade de exames de mamografia com recomendações internacionais estipuladas pela IAEA (importante agência no cenário internacional) e nas normas nacionais determinadas pela ANVISA. Os critérios apresentados pelas duas agências contêm valores bem diversos de dose glandular média (DGM) máxima recomendada para cada espessura de mama entre si, variando de 0,6 mGy a 6,5 mGy, sendo a nacional mais conservadora (BRASIL, 2021) (IAEA, 2009).

Os dados foram coletados de uma base de dados da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) através da plataforma *Ambra Health* (CORDEIRO et al., 2024). Esta é uma plataforma de acesso livre desenvolvida na UNIFESP. A plataforma utiliza integração com o *Picture Archiving and Communication System* (PACS) do hospital, buscando diretamente imagens mamográficas (CORDEIRO et al., 2024). Entre elas, estão diversas imagens mamográficas produzidas em equipamentos da GE *Healthcare* no estado da São Paulo, que foram utilizadas neste trabalho para extrair as informações necessárias.

Como ferramenta auxiliar para extrair as informações necessárias do protocolo DICOM, foi utilizado o programa ImageJ (RASBAND, 2012). Este é um programa de processamento de imagens Java de domínio público. Sua aplicação é de interesse pois ele consegue ler diversos formatos de imagem, incluindo TIFF, GIF, JPEG, BMP, DICOM e FITS. Com ele então é possível acessar as informações atreladas ao protocolo DICOM da imagem (IMAGEJ, s.d.). Entre as informações extraídas estão a dose estimada no órgão, espessura da mama e idade do paciente (DICOM PS3.3, 2023).

Além dessa ferramenta, foi utilizado o *Xray Risk Calculator*, que segue o modelo BEIR VII para cálculo de risco de câncer associado à exposição à radiação a partir do modelo linear sem limiar (LNT). A partir das informações extraídas das imagens médicas acessadas, esses dados são adicionados ao site para realização do cálculo, retornando os valores de risco de câncer associado (XRAYRISK, 2025).

Ainda, a ferramenta Excel foi utilizada para auxiliar na coleta e análise de dados, sendo utilizada principalmente para os cálculos das métricas utilizadas para as análises comparativas.

3.1. EXTRAÇÃO DOS DADOS

A plataforma *Ambra Health* é uma base de dados de imagens mamográficas. Ao acessá-la a partir do usuário cadastrado, a interface inicial conta com uma lista de todos os exames registrados na base. O resumo de cada exame apresenta a idade e o sexo do paciente, além da classificação da densidade da mama de acordo com o sistema de classificação BI-RADS (CORDEIRO et al., 2024).

A interface conta ainda com filtros para seleção das imagens de acordo com os parâmetros desejados e pode ser visualizada na Figura 1. É importante ressaltar que o mesmo exame pode conter diversas imagens, geradas para incidências diferentes em mamas diferentes ou para melhor visualização.

Figura 1 – Interface da plataforma Ambra Health

The screenshot displays the Ambra Health interface. At the top, there's a header with 'Exames' and a dropdown menu set to 'Mammography Database'. Below this, there are search filters for 'Data de Upload' (set to 'Tudo') and 'Favoritos' (set to 'Tudo'). A search bar contains 'Pesquisar' and 'Pesquisa avançada'. Below the search bar, there are several filter categories: GENDER IDENTITY, BREAST DENSITY, FINDING (S), ROUND MASSES, OVAL MASSES, IRREGULAR MASSES, CALCIFICATIONS, CALCIFICATIONS (others), ARCHITECTURAL DISTORTION, ASYMMETRIES, ASSOCIATED FEATURES / OTHERS, MISCELLANY, BI-RADS®, PATHOLOGY, and ATTACHMENTS. Each category has a dropdown menu set to 'All'. Below the filters, there's a table with columns: 'Favorite', 'Estudo', 'Data do exame', 'Data de Upload', and 'Ações'. The table lists four exams. Each exam entry includes a star icon, the exam type (MAMMOGRAPHY), the number of images, the patient's age, gender, breast density, finding, and a link to 'MAIS DETALHES'. The 'Ações' column contains icons for 'Imagens', 'Baixar', 'Attachments', and 'Laudo'.

Favorite	Estudo	Data do exame	Data de Upload	Ações
<input type="checkbox"/>	★ MAMMOGRAPHY 4 Images Age: 034Y GENDER IDENTITY: Cisgender woman BREAST DENSITY: C FINDING (S): Masses,Associated features/ Others,Miscellany MAIS DETALHES.	07-10-2023 02:58 AM	07-10-2023 02:58 AM	Imagens Baixar Attachments Laudo
<input type="checkbox"/>	★ MAMMOGRAPHY 9 Images Age: 051Y GENDER IDENTITY: Cisgender woman BREAST DENSITY: C FINDING (S): Calcifications,Miscellany MAIS DETALHES.	07-10-2023 02:58 AM	07-10-2023 02:58 AM	Imagens Baixar Attachments Laudo
<input type="checkbox"/>	★ MAMMOGRAPHY 8 Images Age: 048Y GENDER IDENTITY: Cisgender woman BREAST DENSITY: C FINDING (S): Calcifications,Miscellany MAIS DETALHES.	07-10-2023 02:58 AM	07-10-2023 02:58 AM	Imagens Baixar Attachments Laudo
<input type="checkbox"/>	★ MAMMOGRAPHY 8 Images Age: 049Y GENDER IDENTITY: Cisgender woman BREAST DENSITY: D FINDING (S): Masses MAIS DETALHES.	06-25-2023 03:43 PM	06-25-2023 03:43 PM	Imagens Baixar Attachments Laudo

Fonte: A autora.

Foram selecionadas apenas imagens mamográficas de exames laudados realizadas em mulheres cisgênero, estando em uma faixa etária diversificada, variando entre 31 e 94 anos. Ao total, um grupo de exames laudados de 33 pacientes foi analisado. Esses exames apresentaram uma variação do número de imagens associado, variando de 2 a 10 imagens, totalizando 194 imagens processadas e analisadas para a realização do trabalho.

Após extrair todos os dados referentes ao grupo avaliado, realizou-se uma comparação quantitativa entre os padrões recomendados pelas agências internacionais e nacionais utilizados como parâmetro e os dados reais. Avaliou-se se todas as doses estimadas no órgão extraídos do protocolo DICOM estavam dentro da faixa limite recomendada. Entretanto, a ANVISA e a IAEA apresentam valores de referência diferentes, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Limites de doses glandulares média recomendados

Espessura da mama (cm)	DGM máxima recomendada – ANVISA (mGy)	DGM máxima recomendada – IAEA (mGy)
2,1	0,6	1,0
3,2	1,0	1,5
4,5	1,6	2,0
5,3	2,0	2,5
6,0	2,4	3,0
7,5	3,6	4,5
9,0	–	6,5

Fonte: Adaptado da IAEA 2009 e BRASIL 2021.

Para as comparações, foram utilizados os parâmetros recomendados de DGM por ambas as agências para a densidade da mama da paciente analisada.

Para isso, foi utilizado como ferramenta auxiliar o Excel. Avaliou-se através de funções disponíveis na ferramenta se os dados coletados eram menores que os limiares sendo utilizados de comparativo.

Após realizar essas medidas individuais de cada exame, foi também calculada a porcentagem que cada uma dessas doses representa dos limites recomendados. A porcentagem média geral das doses recebidas por cada paciente comparada com o limiar máximo também foi calculada.

Além disso, as médias de dose efetiva para cada paciente foram calculadas. A partir dessas doses médias de cada paciente foi possível calcular a dose média efetiva por cada faixa etária, separando as pacientes em 5 grupos diferentes, sendo eles: abaixo de 40 anos, de 40 a 49 anos, de 50 a 59 anos, de 60 a 69 anos e acima de 70

anos. Essas faixas etárias estão distribuídas de acordo com as recomendações da Sociedade Brasileira de Mastologia para o programa de mamografia de rastreamento (SBM, 2012). A porcentagem correspondente da dose efetiva comparada ao limiar recomendado também foi calculada para cada 1 dos 5 grupos de faixas etárias mencionados.

As fórmulas para os cálculos podem ser conferidas nas Equações 1 e 2.

Equação 1 – Média de dose efetiva por paciente:

$$Média\ de\ Dose_{paciente\ ou\ faixa\ etária} = \frac{\sum doses\ efetivas}{n^{\circ}\ imagens}$$

Equação 2 – Porcentagem correspondente do limiar recomendado considerando a referência estabelecida pela norma brasileira para espessura da mama comprimida:

$$x\% = \frac{Dose\ efetiva}{Dose\ recomendada} \times 100$$

3.3. CÁLCULO DO FATOR DE RISCO BASE E ADICIONAL

Após extrair todos os dados, calculou-se o fator de risco adicional estipulado para cada paciente por meio do *Xray Risk Calculator*.

Para esse cálculo, inicialmente estimou-se, a partir da idade da paciente, quantos exames na vida a paciente já haveria realizado até sua idade atual. Essa estimativa de exames levou em consideração uma superestimação da recomendação da SBM, que indica mamografia de rastreamento anual para mulheres a partir de 40 anos, salvo os casos com fator de risco elevado para o câncer de mama e necessidade de exame antecipado. Estipulou-se que todas as pacientes seguiram o cronograma de uma mamografia bilateral com duas imagens realizadas (duas projeções diferentes) uma vez por ano a partir dos 40 anos, totalizando quatro

imagens por exame. A partir dessa estimativa, deseja-se calcular o risco máximo para um exame padrão (SBM, 2012).


Assim, foi adicionada ao calculador o número de exames mamográficos estipulados ao longo de toda a vida dessa paciente, a idade e sexo da paciente, além da dose efetiva média utilizada em seu exame correspondente. Estes são dados pedidos pelo calculador, como mostra a Figura 3 da interface do *XRay Risk Calculator*. Como resultado, o calculador devolve o risco base referente ao sexo e idade mínima, além do risco adicional em decorrência dos exames e a dose total efetiva.

Todos esses valores são calculados a partir do modelo BEIR VII, padrão utilizado que tem como referência os mesmos dados epidemiológicos utilizados para as recomendações dadas por agências como a ICRP e ANVISA (ICRP, 2007) (NCR, 2006).

Após calcular para cada indivíduo do grupo analisado, realizou-se a média de risco adicional para cada 1 das 5 faixas etárias distribuídas de acordo com as recomendações da SBM.

Figura 3 – Interface do XRay Risk Calculator para mamografia

[calculate your risk](#)
[glossary](#)
[contact](#)

 Help

Study:
Gender:
Age at Time of Study:
Number of Exams:
Effective Dose:
DLP (Optional for CT):

Mammogram (unilateral)
Male ☒ Female ☐
 (years)

 (mSv)
 (mGy · cm)

Calculate

Total Effective Dose:
Additional Cancer Risk:
Baseline Cancer Risk:
Baseline + Additional Risk:

(mSv)
 (%)

 (%)

Fonte: A autora.

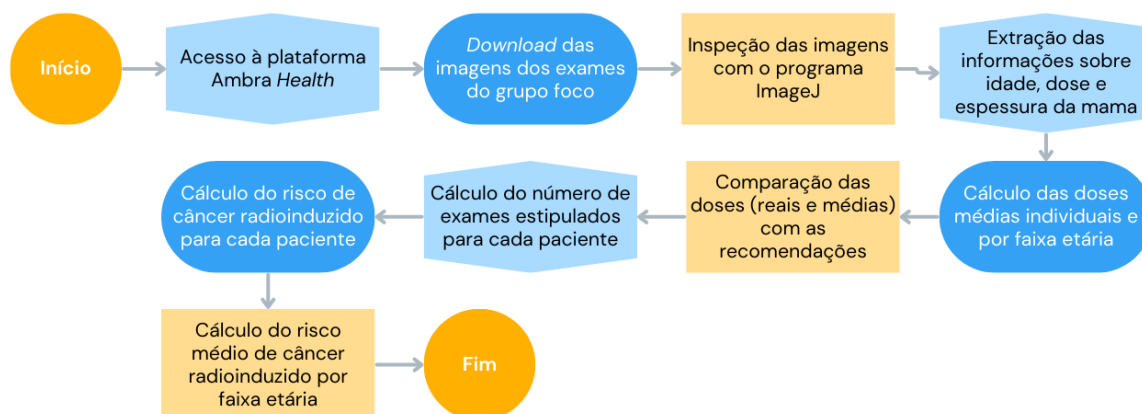
Também foi utilizada como ferramenta auxiliar o Excel para a coleta de dados sobre o risco e o cálculo das médias.

3.4. DIAGRAMA RESUMO

Em resumo, a metodologia conta com duas etapas principais, sendo uma delas focada em uma comparação com dados de dose reais e limites recomendados, tanto em vigor no país como também recomendação internacional, e outra simulando dados a partir das recomendações estabelecidas pela SBM para calcular o risco cumulativo gerado na vida das pacientes analisadas na primeira etapa.

Para melhorar o entendimento da metodologia aplicada, um resumo em forma de diagrama foi construído, que pode ser visualizado na Figura 4.

Figura 4 – Diagrama resumo da metodologia



Fonte: A autora.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. PACIENTES E EXAMES ANALISADOS

O trabalho realizado sobre as 194 imagens das 33 pacientes selecionadas a partir da exames laudados foi analisado e comparado especialmente verificando as diferenças e similaridades entre as faixas etárias. As 33 pacientes estão distribuídas de acordo com os grupos de faixa etária da Tabela 2.

Tabela 2 – Distribuição das pacientes por idade

Faixa etária (anos)	Número de pacientes
Abaixo de 40	1
40 - 49	6
50 - 59	9
60 - 69	9
Acima de 70	8

Fonte: A autora.

As extrações das imagens da base de dados contam com uma média de 5,87 imagens por exame das pacientes. Entretanto, um exame de mamografia deve ser realizado em duas incidências diferentes para cada mama, totalizando quatro imagens. Os exames variaram exigindo no mínimo duas imagens por exame (pacientes com apenas uma mama) e no máximo dez imagens. Os maiores números de imagens por exame foram observados nos exames de uma paciente de 46 anos e uma paciente de 55 anos. Já os menores números foram observados de uma paciente de 66 anos e uma paciente de 72 anos. Entretanto, observa-se que a faixa etária abaixo de 40 anos apresenta apenas uma paciente analisada.

Entre todas as pacientes analisadas, 17 realizaram exames com um número de imagens abaixo da média, representando 51,5% dos exames. Dividindo as pacientes pelas faixas etárias indicadas percebeu-se que as pacientes de 40 a 49 anos apresentaram mais exames com número de imagens acima da média (5,87 imagens por exame), tanto por percentual de exames da faixa etária como em valores absolutos. Já as faixas etárias abaixo de 40 anos e acima de 70 anos apresentaram

menos exames com números de imagens abaixo da média em valores absolutos e em valores percentuais.

Segundo o BI-RADS, recomenda-se que a mamografia seja feita em duas projeções diferentes: crânio-caudal (CC) e médio-lateral oblíqua (MLO). Isso resulta em duas imagens por mama e quatro ao total. Entretanto, em casos específicos durante a realização do exame como mamas densas, presença de implantes ou achados suspeitos, podem ser necessárias imagens adicionais para melhor avaliação, justificando os números observados. Todavia, segundo o princípio ALARA, deseja-se que o mínimo de imagens seja feito, mas com a qualidade necessária para o rastreamento (ACR, 2013).

Dessa forma, os números analisados de quantidades de imagens por exame ainda se apresentam adequados, com a média apontando para valores próximos ao apontado pelo BI-RADS, mas com possibilidade de reduzi-los se possível para diminuir o risco associado à exposição à radiação.

4.2. DOSES EFETIVAS

As doses efetivas observadas nos exames variaram de 0,773 mGy até 6,412 mGy, sendo o primeiro valor observado no exame de uma paciente de 77 anos e o segundo no exame de uma paciente de 52 anos. A média obtida a partir de todas as doses efetivas das imagens foi de 2,011mGy. A distribuição de pacientes por espessura de mama para as análises de conformidade pode ser conferida na Tabela 3.

Tabela 3 – Distribuição das pacientes por espessura de mama

Espessura da mama (cm)	Número de pacientes
Até 2,1	0
2,1 – 3,2	1
3,2 – 4,5	6
4,5 – 5,3	8
5,3 – 6,0	9
6,0 – 7,5	5

Acima de 7,5

4

Fonte: A autora.

Quanto às recomendações de dose estimadas pela IAEA, 25 imagens foram adquiridas fora do padrão em exames de dez pacientes diferentes para as respectivas espessuras de mama, representando cerca de 12,89% de todas as imagens analisadas (IAEA, 2009). Dessas 25 imagens fora das recomendações, cinco receberam mais que o dobro da dose recomendada para a espessura da mama.

Quando comparada com os limites definidos pela ANVISA, 39 imagens foram produzidas fora do padrão, representando cerca de 20,10% de todas as imagens analisada em treze pacientes diferentes (BRASIL, 2021). Dessas 39 imagens, nove foram adquiridas com mais que o dobro de dose recomendada para a respectiva espessura de mama. Esse número mais alto de inadequação, comparado aos dados da IAEA, se deve ao fato de as recomendações brasileiras seguirem valores mais conservadores, seguindo o padrão de que mamógrafos digitais deveriam exigir doses menores para adquirir as imagens mamográficas (BRASIL, 2021) (IAEA, 2009). O caso em que a extrapolação da dose foi maior percentualmente foi observado em uma paciente de 55 anos.

Quanto aos maiores valores absolutos analisados, 19 imagens (10% do total) correspondentes às maiores doses analisadas variam de 3,549 mGy a 6,412 mGy. Dessas 19 imagens, 15 correspondem também a imagens que receberam doses fora do padrão segundo a ANVISA (BRASIL, 2021). Entretanto, apenas cinco estão acima de cinco mGy, representando 2,58% de todas as imagens analisadas.

Ainda considerando os limites recomendados, 127 imagens foram produzidas com doses abaixo de dois mGy (valor de dose recomendado pela IAEA para mama padrão - espessura de 4,5 cm), representando 65,46% de todas as imagens analisadas. Isso indica que as imagens, em sua grande maioria, estão sendo produzidas com baixa doses. Entretanto, como visto anteriormente, algumas doses ainda não são baixas o suficiente para a espessura da mama, extrapolando os limites recomendados (IAEA, 2009) (ICRP, 2007).

Quanto às nove mulheres que receberam as doses mais altas, foi observado que esses valores foram em três mulheres mais jovens (abaixo de 50 anos), cinco mulheres com idades dentro da faixa etária média (50 a 69 anos) e duas mulheres

mais velhas (a partir de 70 anos). Essas observações são coerentes com todo o referencial teórico apresentado, visto que a dose efetiva varia de acordo com diversos fatores como a idade, densidade e espessura da mama (IAEA, 2009) (ICRP, 2007).

Outro fator para as grandes variações de doses são as próprias projeções utilizadas. Das 19 imagens com maiores doses, ao inspecioná-las visualmente com o ImageJ, verificou-se que doze foram realizadas com a projeção MLO. Segundo um estudo realizado na China que também avalia a DGM aplicada em exames mamográficos, este também apresentou grandes variações de DGM, com uma média de 1,6 mGy e variações de 0,39 mGy a 5,01 mGy. Foi observado também que a média de DGM foi maior para a projeção MLO do que para a projeção CC. Isso indica que, além das variações em decorrência da própria espessura da mama, diferenças de valor de dose aplicada devido à projeção utilizada podem ser observadas (DU, Xiang et al, 2014).

Visando analisar melhor as diferenças entre as pacientes analisadas, realizou-se o cálculo das médias de dose efetiva recebida por cada paciente por imagem. Como resultado, observou-se os valores mínimos e máximos de 0,944 mGy e 3,351 mGy respectivamente observados em uma paciente de 77 anos e uma paciente de 62 anos.

De acordo com as médias, três pacientes apresentaram doses médias fora das recomendações da ANVISA e da IAEA, além de outras cinco pacientes que apresentaram doses médias em discordância apenas com as recomendações da ANVISA, representando ao total 24,24% em discordância com os parâmetros nacionais. As médias de doses efetivas por faixa etária podem ser conferidas na Tabela 4 (BRASIL, 2021) (IAEA, 2009).

Tabela 4 – Médias de DGM por faixa etária

Faixa etária (anos)	Média da dose efetiva (mGy)
Abaixo de 40	2,254
40 - 49	2,430
50 - 59	2,312
60 - 69	1,665
Acima de 70	1,716

Fonte: A autora.

A Tabela 4 mostra que as maiores médias de doses efetivas foram observadas na faixa etária de 40 a 49 anos, seguido da faixa etária de 50 a 59 anos, apresentando valores muito próximos. As menores médias de doses efetivas foram observada na faixa etária de 60 a 69 anos, seguido pela faixa etária acima de 70 anos, também com valores muito próximos entre si. Entretanto, ressalta-se que a faixa etária abaixo de 40 anos possui apenas uma paciente sendo analisada, sendo possível que o resultado não seja tão representativo para a população da faixa etária analisada.

Todas as pacientes analisadas da faixa etária dos 40 a 49 anos e abaixo dos 40 anos apresentaram doses acima da média geral de dose efetiva. Entretanto, os valores absolutos das DGM médias de cada paciente desses dois grupos estão ainda relativamente próximos da média, com uma diferença entre valor absoluto e média de até 0,4 mGy para cinco pacientes e com uma diferença maior do que 0,4 mGy para duas pacientes. Todas dessas faixas etárias apresentaram valor absoluto de DGM média limitado em até três mGy.

Já a faixa etária de 50 a 59 anos, apesar de apresentar mais pacientes com DGM média abaixo da média geral, apresenta três pacientes com doses acima de três mGy. O mesmo acontece com a faixa etária de 60 a 69 anos, que a única paciente acima da média geral apresenta uma dose efetiva média acima de três mGy.

Segundo a ICRP, a exposição à radiação em pacientes abaixo dos 50 anos possui um risco maior, então é condizente que muitas das pacientes analisadas nessa faixa etária estejam recebendo doses menores do que três mGy. Ainda, lembrando os números das nove pacientes que receberam doses mais altas, a faixa etária que mais recebeu doses altas foi justamente de 50 a 69 anos (ICRP, 2007). Entretanto, analisando a média geral da faixa etária, possivelmente a faixa etária de 40 a 49 anos está mais suscetível ao risco de câncer radioinduzido, por estar numa faixa etária mais radiosensível e estar recebendo médias mais altas de doses (ICRP, 2007).

Por fim, analisando as recomendações internacionais, que tem padrões um pouco menos conservadores que a ANVISA, o foco de doses limites recomendadas está numa média de 2 a 2,5 mGy, especialmente para mamas padrão. Então, é interessante e importante que todas as médias das faixas etárias estejam de acordo com essas faixas, e que a média geral também esteja. Entretanto, seguindo o princípio ALARA e de acordo com as próprias limitações mais conservadoras nacionais, é

necessário que seja trabalhado em busca de doses menores e de acordo com os limites recomendados (IAEA, 2009) (ICRP, 2007).

Pelos dados apresentados, sugere-se uma falta de conformidade com os padrões dos protocolos de controle de qualidade de mamografias utilizados como referência, que utilizam da DGM como um parâmetro em suas avaliações e calibrações. Apesar disso, sugere-se também que algumas das variações observadas podem estar ligadas à projeção utilizada (BRASIL, 2021) (IAEA, 2009) (ICRP, 2007).

4.3. RISCO DE CÂNCER RADIOINDUZIDO

O *XRay Risk Calculator* fornece um risco base em todo cálculo realizado por ele. Esse risco base estatístico é o risco geral de desenvolver um câncer invasivo ao longo da vida, variando de acordo com o gênero e independente de realizar exames de imagens médicas que emitem radiação ionizante. Para mulheres, esse risco utilizado pelo calculador é de 37,5%, enquanto para homens é de 44,9%. Como no grupo analisado existem apenas mulheres, todas seguirão o valor de 37,5% de risco (XRAYRISK, 2025).

Além disso, o calculador fornece o risco adicional ligado à exposição à radiação por exames de imagens médicas. Estimando para o pior caso de exposição à radiação, na qual todas as pacientes enquadradas nas análises realizaram mamografias de rastreamento anuais a partir dos 40 anos, segundo extrapolações das recomendações da SBM, contrariando a cobertura do SUS que prevê mamografias bianuais a partir dos 50 anos, e antes apenas se identificada a necessidade, calculou-se o número de exames realizados até a idade da paciente retirada das informações dos exames analisados.

Os valores variaram de 1 a 55 exames realizados ao longo da vida, sendo o primeiro para a paciente de 31 anos e o último para a paciente de 94 anos, com uma média de idade de aproximadamente 61 anos e 22 exames ao longo da vida. É esperado que mulheres na faixa dos 50 a 69 anos sejam foco das mamografias de rastreamento, visto que apresentam um alto índice de incidência do câncer de mama e números altos de mortalidade em decorrência desse câncer (INCA, 2023).

Para o cálculo do risco, utilizou-se para cada paciente a dose média que ela recebeu a partir das imagens do seu exame real. Isso simula levar em consideração a própria individualidade do exame da paciente, levando em consideração de forma implícita a densidade e espessura da mama real sendo analisada.

Após todos os cálculos, os resultados de risco total de desenvolver câncer variaram de 37,558% a 38,192%, levando em consideração o risco base. Portanto, o risco adicional para câncer, que é o risco efetivamente para câncer radioinduzido, varia de 0,058% a 0,692%, com um valor médio de 0,337%. O maior valor observado foi de uma paciente de 62 anos. Essa também apresenta a maior dose média efetiva aplicada durante os exames.

Entretanto, ao dividir a dose efetiva pelo risco adicional calculado, entende-se que a relação não é linear entre as pacientes analisadas, confirmando que o parâmetro idade está sendo levado em consideração. Isso demonstra também conformidade com o modelo BEIR VII, que baseia o calculador (NRC, 2006).

Observa-se que, dos sete (cerca de 20% da população analisada) maiores riscos adicionais calculados para as pacientes, cinco estão no grupo das sete pacientes que apresentaram maiores doses médias efetivas. Isso corrobora com a afirmativa de que o risco cresce de acordo com a dose aplicada, tendo efeitos muito mais nocivos e relevantes com doses mais elevadas (IAEA, 2009) (ICRP, 2007).

No grupo das sete pacientes com maiores riscos adicionais calculados, as idades das pacientes são de 52, 55, 56, 59, 62, 73 e 83 anos. Observa-se que cinco são da faixa etária de 50 a 69 anos, faixa etária foco dos programas de mamografia de rastreamento (SBM, 2014). Portanto, mesmo que o risco seja um pouco acima dos riscos calculados para as demais pacientes, o risco é justificado pela alta incidência do câncer de mama nessa faixa etária e a necessidade de assegurar o início do tratamento logo na fase inicial do câncer (INCA, 2023). Além disso, os maiores riscos observados para duas pacientes na faixa etária acima de 70 anos apontam para o princípio do risco a partir da dose acumulada ao longo da vida (NRC, 2006).

Separando todos os riscos adicionais calculados por faixa etária, percebe-se que a faixa etária que, proporcionalmente, apresentou mais pacientes com risco adicional acima da média (0,337%) foi a faixa etária de 50 a 59 anos, seguido pela faixa etária acima de 70 anos. Esse risco para a faixa etária acima de 70 anos é pautado no risco a partir da dose acumulada ao longo da vida, sendo mais provável

que pacientes submetidas a mais exames de imagem ao longo da vida tenham acumulado mais doses (NRC, 2006). Ainda, ele aponta o motivo para a recomendação mais fraca da aplicação do programa de mamografia rastreamento para essas faixas etárias (SBM, 2014).

Entretanto, para a faixa de 50 a 59 anos, esse risco está associado a uma maior radiosensibilidade dos tecidos em idades mais jovens e doses médias mais altas nesse grupo analisado, além da dose acumulada maior do que as duas faixas etárias anteriores em decorrência de mais exames realizados (NRC, 2006). A média de risco adicional por faixa etária pode ser observada na Tabela 5.

Tabela 5 – Risco adicional médio por faixa etária

Faixa etária (anos)	Risco adicional médio (%)
Abaixo de 40	0,0291
40 - 49	0,1204
50 - 59	0,2085
60 - 69	0,1743
Acima de 70	0,1704

Fonte: A autora.

Além de apresentar mais pacientes, proporcionalmente, com risco acima da média, a faixa etária de 50 a 59 anos também apresentou o maior risco adicional médio por faixa etária. Isso está coerente com os fatores sendo levados em consideração pelos modelos de estimativa de risco e pelo calculador, sendo eles a radiosensibilidade dos tecidos em idades mais jovens, os efeitos da exposição à radiação crescendo com o aumento da dose e o risco por dose acumulada (NCR, 2006) (XRAYRISK, 2025). Mais uma vez ressalta-se que a faixa etária abaixo de 40 anos possui apenas uma paciente sendo analisada, sendo possível que os resultados apresentados não sejam muito significativos para a população da faixa etária sendo analisada.

Além disso, se destaca que os valores médios de risco adicional foram bem mais baixos para as mulheres mais jovens (abaixo de 50 anos), defendendo mais uma vez o posicionamento da Sociedade Brasileira de Mastologia que o benefício supera

os riscos para a mamografia de rastreamento realizada em mulheres a partir dos 40 anos (SBM, 2014).

Também, quando comparados com os valores de risco base do risco de câncer geral para mulheres, o risco adicional causado pelo programa de mamografia de rastreamento é no mínimo 50 vezes menor, mesmo para os casos de maiores valores apresentados. Isso indica que, o risco adicional para mulheres que seguiram o programa é muito menos significativo que o risco intrínseco inicial, especialmente se levado em consideração que o nível de mortalidade é muito mais alto em casos em que o câncer de mama descobertos em níveis mais avançados (NELSON et al., 2016).

Todas essas evidências apontam para a superioridade do benefício em relação ao risco e justificando mais uma vez a manutenção do programa de mamografia de rastreamento e a ampliação do mesmo para faixas etárias a partir de 40 anos (BRASIL, 2021) (SBM, 2014).

5. CONCLUSÃO

A mamografia persiste até os dias atuais como o meio mais eficaz de detecção do câncer de mama, permitindo a visualização de estruturas muito pequenas. A mamografia de rastreamento se faz necessária, visando reduzir a mortalidade por câncer de mama. A calibração adequada do mamógrafo é essencial para esse diagnóstico para todas as fases da doença, permitindo uma eficiência maior e garantindo a segurança do paciente exposto ao exame.

Segundo as análises realizadas levando em consideração a dose glandular média dos exames de mamografia, elas apontam para algumas inconformidades com as recomendações levadas em consideração para o equipamento analisado, principalmente para a faixa etária de 50 a 59 anos.

Entretanto, mesmo com a discordância apontada sobre o equipamento e a extrapolação das recomendações da Sociedade Brasileira de Mastologia (SBM) para criar o cenário de pior exposição à radiação, o risco adicional de câncer radioinduzido é muito menor do que o risco base inerente às mulheres. Isso aponta que a sugestão da SBM de iniciar programa de rastreamento aos 40 anos se faz relevante, com os benefícios superando os riscos à saúde.

Para um novo trabalho realizado na mesma área, espera-se analisar uma base de imagens maior, com uma maior heterogeneidade das pacientes analisadas, além de analisar exames de mamografia realizados em equipamentos de diferentes regiões.

REFERÊNCIAS

AMERICAN COLLEGE OF RADIOLOGY (ACR). *ACR BI-RADS® Atlas – Mammography*. 5th ed. Reston, VA: American College of Radiology; 2013.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 602, de 22 de fevereiro de 2022. Dispõe sobre os requisitos sanitários para o funcionamento de serviços de radiodiagnóstico. Diário Oficial da União, Brasília, 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. Portaria SVS/MS nº 453, de 1º de junho de 1998. Aprova o Regulamento Técnico que estabelece as diretrizes básicas de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico. Diário Oficial da União, Brasília, 1998.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). Instrução Normativa - IN nº 92, de 27 de maio de 2021. Estabelece os requisitos sanitários para a prática de mamografia no âmbito do Sistema Único de Saúde (SUS). Diário Oficial da União, Brasília, 2021.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 330, de 20 de dezembro de 2019. Diário Oficial da União, Brasília, 2019.

CORDEIRO, Natália Monteiro; FACINA, Gil; NAZÁRIO, Afonso Celso Pinto; SANVIDO, Vanessa Monteiro; ARAUJO NETO, Joaquim Teodoro; DOS SANTOS, Ernandez Rodrigues; DA SILVA, Morgana Domingues; ELIAS, Simone. Towards precision medicine in breast imaging: a novel open mammography database with tailor-made 3D image retrieval for AI and teaching. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, v. 248, p. 108117, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2024.108117>.

DATASUS. Sistema de Informação do Câncer de Mama. Brasília: Ministério da Saúde, 2023.

DICOM STANDARD. DICOM PS3.3: Information Object Definitions. 2023. Disponível em: <https://www.dicomstandard.org>. Acesso em: 10 mar. 2025.

DICOM STANDARD. DICOM PS3.15: Security and System Management Profiles. 2023. Disponível em: <https://www.dicomstandard.org>. Acesso em: 10 mar. 2025.

DU, Xiang et al. Investigation of mean glandular dose in diagnostic mammography in China. Biomedical and Environmental Sciences, Beijing, v. 27, n. 5, p. 396–399, 2014. DOI: 10.3967/bes2014.067. Disponível em: <https://www.besjournal.com/en/article/doi/10.3967/bes2014.067>. Acesso em: 21 abr. 2025.

Fico N, Di Grezia G, Cuccurullo V, Salvia AAH, Iacomino A, Sciarra A, Gatta G. Breast Imaging Physics in Mammography (Part I). Diagnostics (Basel). 2023. DOI: 10.3390/diagnostics13203227.

HENDRICK, R. E. et al. Radiation Doses and Cancer Risks from Breast Imaging Studies. Radiology, v. 293, n. 1, p. 246-253, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1148/radiol.10100570>.

IMAGEJ. Introduction to ImageJ. [S.l.]: ImageJ, [s.d.]. Disponível em: <https://imagej.net/ij/docs/intro.html>. Acesso em: 20 abr. 2025

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). Quality Assurance Programme for Digital Mammography. Vienna: IAEA, 2009.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. Vienna: IAEA, 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER (INCA). Estimativa 2023: Incidência de Câncer no Brasil. Brasília, DF: INCA, 2023.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRU). 2005. Patient dosimetry for x rays used in medical imaging. ICRU Report, 74.

LAROBINA, M.; MURINO, L. Thirty Years of the DICOM Standard. *Journal of Digital Imaging*, v. 32, n. 1, p. 1-8, 2019.

NELSON, H. D. et al. Effectiveness of Breast Cancer Screening: Systematic Review and Meta-analysis. *Annals of Internal Medicine*, v. 164, n. 4, p. 244-255, 2016. DOI: <https://doi.org/10.7326/M15-0969>.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). 2006. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII Phase 2. Washington, DC: The National Academies Press.

OLIVEIRA, P. M. et al. Dose Variations in Brazilian Mammography Services. *Radiologia Brasileira*, v. 56, n. 4, p. 201-208, 2023.

RASBAND, Wayne S. ImageJ User Guide – IJ 1.46. Bethesda, Maryland, USA: U. S. National Institutes of Health, 2012. Disponível em: <https://imagej.net/ij/docs/guide/146.html>. Acesso em: 20 abr. 2025.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE MASTOLOGIA (SBM). Recomendações do Colégio Brasileiro de Radiologia e Diagnóstico por Imagem, da Sociedade Brasileira de Mastologia e da Federação Brasileira das Associações de Ginecologia e Obstetrícia para rastreamento do câncer de mama por métodos de imagem. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/ij/rb/a/ndjRGNCLF5TSKLkV59ZbQbx/format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 mar. 2025.

SOUSA, J. S. Dosimetria de radiações ionizantes. 2025. 133 f. Dissertação – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2025.

TEE, SIM. (2010). Integrating DICOM Information Model with Risk Management Process Area of CMMI for Radiotherapy Applications. 73 - 76. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCRD.2010.67>.

WHO. WHO Position Paper on Mammography Screening. Geneva: WHO, 2016.

WHO. Global Cancer Observatory: Breast Cancer Fact Sheet. Geneva: WHO, 2021.

XRAYRISK. About the XRayRisk calculator. 2025. Disponível em: <https://www.xrayrisk.com/about.php>. Acesso em: 10 fev. 2025.

**APÊNDICE A – TABELA REFERENTE ÀS IMAGENS ANALISADAS POR
PACIENTE**

Identificação da paciente	Idade (anos)	Dose (mGy)	Espessura Da Mama (cm)
M1	43	2,125	3,8
M2	56	3,215	8,5
M3	64	1,404	6,0
M4	46	2,914	8,3
M5	45	2,710	5,8
M6	90	1,346	4,6
M7	76	1,586	5,8
M8	66	1,389	4,9
M9	51	1,920	6,2
M10	52	3,066	6,5
M11	49	2,099	6,5
M12	60	1,489	8,2
M13	42	2,435	6,6
M14	57	1,775	4,3
M15	59	2,376	4,7
M16	94	1,380	3,1
M17	62	3,351	7,5
M18	55	3,053	3,6
M19	72	1,055	5,3
M20	66	1,330	4,1
M21	65	1,542	5,2
M22	55	1,794	5,8
M23	73	2,589	5,6
M24	74	2,239	5,9
M25	66	1,575	5,9
M26	66	1,389	4,9

M27	56	1,837	4,6
M28	48	2,299	8,1
M29	53	1,776	3,8
M30	65	1,513	5,4
M31	77	0,944	3,6
M32	83	2,589	5,2
M33	31	2,254	5,8

**APÊNDICE B – TABELA REFERENTE AOS RISCOS CALCULADOS POR
PACIENTE**

Identificação da paciente	Idade (anos)	RISCO ADICIONAL (%)
M1	43	0,1458
M2	56	0,6025
M3	64	0,2948
M4	46	0,3158
M5	45	0,2605
M6	90	0,2382
M7	76	0,3277
M8	66	0,2943
M9	51	0,3011
M10	52	0,5034
M11	49	0,2936
M12	60	0,3009
M13	42	0,1296
M14	57	0,3404
M15	59	0,4731
M16	94	0,2299
M17	62	0,6929
M18	55	0,5571
M19	72	0,2228
M20	66	0,2818
M21	65	0,3255
M22	55	0,3274
M23	73	0,5444
M24	74	0,4685
M25	66	0,3337
M26	66	0,2943
M27	56	0,3443
M28	48	0,2994

M29	53	0,3035
M30	65	0,3193
M31	77	0,1936
M32	83	0,5015
M33	31	0,0581