INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE SAÚDE – DAS
CURSO SUPERIOR DE TECNÓLOGO EM RADIOLOGIA

NATACHA ALEXANDRA FELIX DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA TÉCNICA RADIOGRÁFICA NA DOSE ABSORVIDA EM EXAMES DE TÓRAX EM PHANTON COMPUTACIONAL DE NEONATO

FLORIANÓPOLIS
2024

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE SAÚDE – DAS
CURSO SUPERIOR DE TECNÓLOGO EM RADIOLOGIA

NATACHA ALEXANDRA FELIX DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA TÉCNICA RADIOGRÁFICA NA DOSE ABSORVIDA EM EXAMES DE TÓRAX EM PHANTON COMPUTACIONAL DE NEONATO

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Tecnólogo em Radiologia.

Orientador: Prof. Flávio Augusto P. Soares, Dr.

FLORIANÓPOLIS
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

SANTOS, NATACHA ALEXANDRA FELIX
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA TÉCNICA RADIOGRÁFICA NA DOSE ABSORVIDA EM EXAMES DE TÓRAX EM PHANTON COMPUTACIONAL DE NEONATO / NATACHA ALEXANDRA FELIX SANTOS; orientação de Flávio Augusto P. Soares. - Florianópolis, SC, 2024.
38 p.
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. CST em Radiologia. Departamento Acadêmico de Saúde e Serviços.
Inclui Referências.

1. Raios X. 2. Unidade de terapia intensiva neonatal. 3. Radiologia. 4. Dose de Radiação. I. Augusto P. Soares, Flávio. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA TÉCNICA RADIOGRÁFICA NA DOSE ABSORVIDA EM EXAMES DE TÓRAX EM PHANTON COMPUTACIONAL DE NEONATO.

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA TÉCNICA RADIOGRÁFICA NA DOSE ABSORVIDA EM EXAME DE TÓRAX EM PHANTON COMPUTACIONAL DE NEONATO

NATACHA ALEXANDRA FELIX DOS SANTOS

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Tecnóloga em Radiologia e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Superior de Tecnologia em Radiologia do Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina.

Prof. Flávio Augusto P. Soares, Dr. (orientador)

Banca Examinadora:

Profa.. Charlene da Silva, Me.

Prof. Peter Kühn, Me.

FLORIANÓPOLIS

2024

DEDICATÓRIA

A minha família por sempre estarem ao meu lado e me proporcionarem oportunidades para correr atrás dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me presenteado com a Vida.

A minha família por toda compreensão e esforço sempre prestado.

Ao meu orientador Flávio Augusto P. Soares pelo incentivo constante e orientações para este trabalho.

Enfim, a todos aqueles que ajudaram de alguma forma direta ou indireta para contribuir com este trabalho.

“As dificuldades que enfrentamos na vida são para nos fortalecer para grandes conquistas futuras, não importa as vezes que andou perdendo na vida, se preocupe com quantas vezes mais você é capaz de cair e levantar.”

Preg. Thiago Gonçalves

RESUMO

No início do uso da radiação, em 1895, a conscientização sobre os riscos dos efeitos dos raios X era precária, porém, com o decorrer dos anos por meio de estudos, foi possível comprovar os danos causados por essa exposição. No entanto, é através dessa radiação que tivemos um grande avanço para a medicina diagnóstica, pois a radiografia convencional possibilitou precisão e rapidez no diagnóstico por imagem fazendo com que o médico tenha mais autonomia e eficácia para laudar o paciente. Com isso, o objetivo desta pesquisa é analisar a influência dos fatores técnicos na dose absorvida em órgãos na radiografia de tórax em um phantom neonato por meio do software PCXMC. Este trabalho é uma pesquisa com uma abordagem quantitativa experimental aplicada que buscou explicações para propor a conscientização da dose entregue aos órgãos de risco. A pesquisa foi realizada com auxílio do software PCXMC, que é um programa utilizado para simular a dose absorvida no indivíduo a partir dos parâmetros elétricos e geometria do campo de radiação. Foram comparadas simulações com diferentes colimações, distâncias e tensão, a partir de uma técnica padrão utilizada em UTI neonatal já consagrada na literatura. Com as variações na técnica padrão, avaliou-se a influência da técnica radiográfica na dose absorvida em exames de tórax em Phantom computacional de neonato.

Palavras-chave: Raios X, Unidade de terapia intensiva neonatal. Radiologia, Dose de Radiação.

RESUMEN

Al inicio del uso de las radiaciones, en 1895, la conciencia sobre los riesgos de los efectos de los rayos X era precaria, sin embargo, con el paso de los años, a través de estudios, se pudo comprobar los daños que provocaba esta exposición. Sin embargo, es a través de esta radiación que hemos tenido un gran avance en la medicina diagnóstica, ya que la radiografía convencional ha permitido precisión y rapidez en el diagnóstico por imagen, otorgando al médico mayor autonomía y eficiencia en el informe del paciente. Por tanto, el objetivo de esta investigación es analizar la influencia de factores técnicos sobre la dosis absorbida en órganos en radiografía de tórax en un fantasma neonatal utilizando el software PCXMC. Este trabajo es una investigación con un enfoque cuantitativo experimental aplicado que buscó explicaciones para proponer el conocimiento de la dosis entregada a los órganos en riesgo. La investigación se realizó con la ayuda del software PCXMC, que es un programa que se utiliza para simular la dosis absorbida en el individuo en función de los parámetros eléctricos y la geometría del campo de radiación. Se compararon simulaciones con diferentes colimaciones, distancias y voltajes, basándose en una técnica estándar utilizada en UCI neonatales ya establecida en la literatura. Con variaciones en la técnica estándar, se evaluó la influencia de la técnica radiográfica sobre la dosis absorbida en exámenes de tórax en fanton computacional de neonatos.

Key Words: X-rays, neonatal intensive care unit. Radiology, Radiation Dose.

ABSTRACT

At the beginning of the use of radiation, in 1895, awareness about the risks of the effects of X-rays was precarious, however, over the years, through studies, it was possible to prove the damage caused by this exposure. However, it is through this radiation that we have had a major advance in diagnostic medicine, as conventional radiography has enabled precision and speed in image diagnosis, giving the doctor more autonomy and efficiency in reporting the patient. Therefore, the objective of this research is to analyze the influence of technical factors on the dose absorbed in organs on chest radiography in a neonatal phantom using the PCXMC software. This work is research with an applied experimental quantitative approach that sought explanations to propose awareness of the dose delivered to organs at risk. The research was carried out with the help of PCXMC software, which is a program used to simulate the dose absorbed in the individual based on the electrical parameters and geometry of the radiation field. Simulations with different collimations, distances and voltage were compared, based on a standard technique used in neonatal ICUs already established in the literature. With variations in the standard technique, the influence of the radiographic technique on the absorbed dose in chest examinations in computational phanton of neonates was evaluated.

Palabras Claves: Rayos X, Unidad de cuidados intensivos neonatales. Radiología, Dosis de Radiación.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Equipamento radiográfico digital com estativa no teto Digital Diagnost C50……..…….…. 20
Figura 2 - Equipamento radiográfico com estativa presa ao chão Dura Diagnost F30……..…….…. 21
Figura 3 - Sistema de radiografia digital móvel Mobile Diagnost wDR…….. 22
Figura 4 - Tela inicial para configuração dos parâmetros.……28
Figura 5 - Tela de normalização da dose…….……29
Figura 6 - Exemplo de relatório da simulação……..…….……29
Gráfico 1 - Resultado dos parâmetros da tabela com distância de 100 cm……..……31
Gráfico 2 - Resultado dos parâmetros da tabela com distância de 80 cm…....32
Gráfico 3 - Resultado dos parâmetros da tabela com distância de 110 cm..…32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros técnicos sugeridos em UTIn……..…27
Tabela 2 - Diferença da dose entregue a cada órgão de risco em uma distância de 80 cm……34
Tabela 3 - Diferença da dose entregue a cada órgão de risco em uma distância de 90 cm……35
Tabela 4 - Diferença da dose entregue a cada órgão de risco em uma distância de 100 cm……..…36
Tabela 5 - Diferença da dose entregue a cada órgão de risco em uma distância de 110 cm……..…37
Tabela 6 - Comparação da dose com variação da tensão para DFF 100 cm e colimação exata……37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 15

1.1 Problema da pesquisa..... 16

1.2 Justificativa..... 16

1.3 Objetivo geral..... 18

1.4 Objetivos específicos..... 18

2 REVISÃO DA LITERATURA..... 19

2.1 Descoberta e avanço da radiação ionizante e radiobiologia……. 19

2.2 Equipamentos Emissores de Radiação e técnicas..... 19

2.3 Unidade de Terapia Intensiva neonatal..... 22

2.4 Software PCXMC..... 24

3 METODOLOGIA..... 26

3.1 Definição de parâmetros……..... 26

3.2 Análise dos resultados..... 28

3.3 Aspecto ético……..... 30

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES…….……..... 31

5 CONCLUSÃO..... 39

6 REFERÊNCIAS..... 40

1 INTRODUÇÃO

Um dos benefícios da radiografia convencional é possibilitar o diagnóstico de patologias por meio de imagem, ou seja, sem a necessidade de utilização de métodos invasivos para confirmação de diagnósticos. Atualmente a radiografia convencional é o exame mais utilizado e de maior acesso à população (Freitas; Yoshimura, 2005).

Por ser um exame de fácil acesso e muito solicitado pelos médicos, é preciso ter cautela com a dose de radiação recebida pelo indivíduo. Para se evitar isso, existem princípios básicos de proteção radiológica que são justificação, otimização e limitação de dose, presentes em normas nacionais e internacionais, em especial a norma regulamentadora vigente da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), que determina o limite de dose máxima que o indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE) pode receber, no corpo todo é 20 mSv de dose efetiva (ANVISA, 2022; CNEN, 2024).

Contudo, não se tem uma dose de exposição máxima determinada para o paciente; a otimização da dose é necessária e os benefícios diagnósticos ou terapêuticos precisam ter pesos maiores do que os malefícios que possam ser causados (CNEN, 2024).

Com relação à exposição aos raios X para fins médicos, destaca-se que crianças têm maior sensibilidade aos efeitos nocivos da radiação ionizante, porque os tecidos estão em desenvolvimento, por isso são mais radiossensíveis; e por possuírem uma expectativa de vida maior, há o aumento da probabilidade de serem expostas a esse tipo de radiação, que pode causar danos genéticos e câncer, principalmente leucemia (Boechat, 2007).

Tratando-se de UTI neonatal no setor pediátrico, ocorre a preocupação em função da alta taxa de morbimortalidade, sendo necessário um cuidado devido ao risco de morte dos neonatos, que dependem de ventilação mecânica em fase aguda de insuficiência respiratória (Segundo et al, 2018).

Sendo assim, além dos neonatos estarem mais sensíveis a radiação, existia a falta de proteção radiológica para os exames realizados na UTI neonatal, isto devido o próprio hospital não possuir equipamentos de proteção

individual (EPI) suficientes (Marques, 2018).

Contudo, através de normas e princípios de proteção radiológica que estabelecem práticas e procedimentos seguros no momento da exposição à radiação, incluindo exposições realizadas em leitos hospitalares, pode-se monitorar os procedimentos realizados (Brasil, 2014).

Embora as aquisições de imagens efetuadas em leitos com equipamentos móveis sejam necessárias, é de suma importância assegurar que os benefícios sejam maiores do que os danos causados pela radiação à exposição ocupacional, médica e de indivíduos do público (Huhn *et al.*,2013).

Sendo assim, segundo a Resolução da Diretoria Colegiada da ANVISA - RDC N° 611/2022, somente é permitida a realização de exames radiológicos em leitos hospitalares com equipamentos móveis quando for clinicamente inaceitável transferir o paciente para instalação com equipamento fixo.

Nesta perspectiva, pretende-se contribuir com a proteção de neonatos discutindo-se as informações necessárias de dose resultante a partir da variação dos parâmetros elétricos e da colimação. Para tal, foi utilizado o programa PCXMC, que é um programa para simular a dose absorvida no indivíduo a partir dos parâmetros elétricos e geometria do campo de radiação. Assim, foram comparadas simulações com diferentes colimações, distâncias e tensões, para que se possa avaliar a influência da técnica na dose absorvida em órgãos de risco.

1.1 Problema da pesquisa

Qual a influência dos fatores técnicos na dose absorvida de neonatos em exames radiológicos na UTI neonatal?

1.2 Justificativa

A temática da pesquisa é relevante, tendo em vista os efeitos indesejados causados pela exposição excessiva à radiação ionizante de

neonatos, devido a quantidade de exames de raios X, conforme afirma o estudo realizado em um hospital público em Belo Horizonte. Afirmam Lacerda et al (2008, p.327):

> Os recém-nascidos realizaram, em média, 3,9 exames de raios X de tórax/abdome, em um período médio de internação de 16 dias. É importante destacar que um dos pacientes realizou um número elevado de exames (50) em um período de 137 dias de internação.

Sendo assim, nessa perspectiva existe um limiar de dose para os efeitos determinísticos. Os exemplos mais importantes são os efeitos somáticos apresentados na Norma CNEN NN 7.01 de 2024. Porém, essa norma não indica a dose máxima que o paciente pode receber ao ano, neste caso entra apenas o princípio da justificativa, otimização e limitação de dose: os benefícios devem ser maiores que os malefícios.

Com o avanço da tecnologia e a disponibilização dos equipamentos, a quantidade de procedimentos radiográficos aumentou. Assim, a frequência de exposição à radiação ionizante nos indivíduos também aumentou. Um bom diagnóstico leva a um bom tratamento, no entanto, existem maneiras de reduzir os riscos resultantes deste tipo de exposição mantendo-se a mesma qualidade na imagem, utilizando-se os fatores técnicos certos, assim como afirma o princípio da otimização de dose.

Após a vivência de estágio, adquiriu-se o interesse pela área de UTI neonatal, devido aos neonatos terem sua sensibilidade aos efeitos nocivos da radiação ionizante ampliados, e por possuírem uma expectativa de vida maior, aumentando a probabilidade de serem expostas a esse tipo de radiação várias vezes. Contudo, através de estudos, foi perceptível que não se tem um padrão para os parâmetros técnicos para realizar esse exame (GISLASON-LEE, 2021).

1.3 Objetivo Geral

Analisar a influência dos fatores técnicos na dose absorvida em órgãos na radiografia de tórax em um phantom neonato por meio do software PCXMC.

1.4 Objetivos Específicos

a) Estimar a dose absorvida nos órgãos com quatro fatores técnicos pré-estabelecidos em radiografia de tórax em um phantom neonato.

b) Descrever a variabilidade da dose absorvida nos órgãos (timo, tireóide, testículos e útero) considerando os fatores técnicos pré-estabelecidos em radiografia de tórax em um phantom neonato.

c) Analisar a influência dos fatores técnicos nas doses absorvidas nos órgãos de risco na radiografia de tórax em um phantom neonato.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Para compreender melhor a influência dos fatores técnicos na dose absorvida em exames radiográficos executados em Unidades de Terapia Intensiva Neonatal - UTIn, durante a utilização de equipamento móvel, é importante entender a produção desta energia bem como a sua forma de controle.

2.1 Descoberta e avanço da radiação ionizante e radiobiologia

A radiação ionizante está presente no meio ambiente desde a origem do planeta Terra, no entanto, em 1895 com a descoberta de W. C. Röntgen, o homem começa a ter o controle na sua produção e mudar a utilização dela, voltando-se para experimentos ou para o seu benefício próprio. Em decorrência da exposição nos primeiros anos, muitas vezes exagerada por não haver conhecimento dos malefícios causados, percebe-se os riscos e efeitos provenientes da radiação (Rocha, 2018).

Como relata Navarro (2008), os primeiros trinta anos da utilização dos raios X causaram muitos danos aos profissionais que utilizavam essa tecnologia.

Sendo assim, a execução de exames de raios X pode acarretar alguns efeitos para o ser humano, como retardo mental, microcefalia e retardo de crescimento (Siat, 2020).

Contudo, as pesquisas científicas levaram a um conhecimento aprofundado dos efeitos biológicos, permitindo o desenvolvimento das tecnologias atuais e implementando uma legislação, ajudando a diminuir e conscientizar a utilização da radiação.

2.2 Equipamentos Emissores de Radiação e técnicas

Os equipamentos radiográficos servem para a formação da imagem que possibilita melhorar a qualidade no diagnóstico, isso ocorre através da emissão

e a forma do feixe de radiação (Pereira, 2013).

A qualidade do feixe de raios X tem uma relação direta com o contraste da imagem, o principal item de visualização dela. Com isso, aparelhos que utilizam o mesmo princípio de produção de radiação e registro de imagem também são produzidos com o objetivo de uma entrega mais eficaz da qualidade de imagem (Pereira, 2013).

Os aparelhos radiológicos fixos segundo as normativas devem ter uma sala exclusiva com sistema de energia elétrica adequado, com espaço suficiente para a circulação de médicos, equipe de enfermagem, equipe de técnicos radiológicos e pacientes, necessitando que haja cautela com o local de instalação dos aparelhos, pois não podem ser removidos do seu local de instalação (Soares; Lopes, 2015). Os aparelhos podem ter sua estativa tanto presa ao teto, como no chão, conforme demonstrado nas Figuras 1 e 2.

Figura 1: Equipamento radiográfico digital com estativa no teto: Digital Diagnost C50



Fonte: www.philips.com.br (divulgação)

A imagem acima é de um equipamento fixo, no qual possui sua estativa presa no teto, possui mesa de exame, bucky mural e grade antidifusora.

Figura 2: Equipamento radiográfico com estativa presa ao chão: Dura Diagnost F30



Fonte: www.philips.com.br (divulgação)

Através das imagens acima é possível identificar que os aparelhos possuem componentes básicos como cabeçote, sistema de colimação interna do feixe e chassi ou cassete radiográfico; e também acessórios, como mesa de exames, grade antidifusora, porta chassi, estativa presa no chão e trilhos (Soares; Lopes, 2015).

O principal autor que informa perfeitamente os elementos que constituem o aparelho é:

> As ampolas localizadas dentro do cabeçote do aparelho possuem em sua construção o eletrodo negativo (cátodo) e positivo (ânodo), sendo estes selados em uma ampola de vidro sob alto-vácuo. Ao ser aplicada uma alta-tensão (diferença de potencial) entres os eletrodos, os elétrons provenientes do cátodo são acelerados em direção do ânodo se chocando com o alvo, produzindo raios X e muito calor, entre outras energias (Ros,2000 *apud* Silva, 2022, p, 22).

Sendo assim, os movimentos do cabeçote só são possíveis devido à existência do trilho, que é utilizado apenas em aparelhos fixos. o trilho pode ser preso no chão ou no teto, permitindo a adequação em cada tipo de exame da distância foco-paciente (Soares; Lopes, 2015).

Apesar de toda tecnologia que se tem hoje, os equipamentos móveis apresentam apenas os recursos necessários para a emissão da imagem. Conforme afirma Pereira (2013), os equipamentos ficam fixos ao emissor de radiação e devido ser voltado a exames no leito, não possuem mesa, como apresenta na figura 3.

Figura 3: Sistema de radiografia digital móvel: Mobile Diagnost wDR.



Fonte: www.philips.com.br (divulgação)

Devido ao aparelho ser móvel, com rodas embutidas e peso razoável, torna-se prático e simples para efetuar exames. Contudo, esse aparelho na maioria das vezes é usado em ambientes sem proteção radiológica e sem blindagem apropriada (Pereira, 2013).

No entanto, Silva destaca as vantagens da utilização dos equipamentos móveis:

> Os equipamentos móveis possibilitam a realização de exames no leito ou fora da mesa, podendo ser realizado na maca, cama ou cadeira de rodas. Como fonte de energia para o funcionamento do equipamento, utiliza-se uma tomada padrão de rede: 127 volts ou 220 volts. A utilização das tomadas são dispensáveis na hora do exame para aparelhos que possuam baterias e elas estejam devidamente carregadas. (Pereira, 2013 *apud* Silva, 2022, p. 23).

Contudo, vale ressaltar que, por mais que se assemelha ao funcionamento do aparelho fixo, os aparelhos móveis não devem ser utilizados como substitutos daqueles, pois não possuem a capacidade de realizar exames constantemente, além de não proporcionarem uma qualidade tão alta nas imagens obtidas (Soares; Lopes, 2015).

2.3 Unidade de Terapia Intensiva neonatal

Conforme afirma o Ministério da Saúde (Brasil, 2018), a UTI é reservada para os recém-nascidos graves ou potencialmente graves, devido a se tratar de

uma unidade de internação, o cuidado deve ser redobrado e precisam ser dotados de infraestrutura mínima para uma assistência dentro de condições técnicas adequadas. Estes serviços devem ser capazes de:

> Articular uma linha de cuidados progressivos, possibilitando a adequação entre a capacidade instalada e a condição clínica do recém-nascido (pacientes com idade entre zero e 28 dias de vida). Os recém-nascidos que necessitem dos cuidados específicos de Unidade Neonatal e que se encontrem em locais que não disponham destas unidades devem receber os cuidados necessários até sua transferência para uma Unidade Neonatal, que deverá ser feita após estabilização do recém-nascido e com transporte sanitário adequado, realizado por profissional habilitado, (Ministério Da Saúde, 2018, p. 30).

As UTIn são planejadas como unidades para tratamento e cuidados intensivos, não sendo setores planejados como salas de radiodiagnóstico, o que as tornam ausentes de proteção radiológica (Brasil, 2019).

No entanto, são os aparelhos móveis que dão a possibilidade da realização de exames radiográficos nos leitos, quando da impossibilidade do paciente ser transferido para uma instalação com equipamento fixo, o que justifica a realização desta prática (Flôr, 2006).

Segundo a Portaria nº 930, de 10 de maio de 2012 do Ministério da Saúde, a qualificação da infraestrutura nas unidades de terapia intensiva neonatal tem como objetivo favorecer e facilitar os processos de trabalho conforme as boas práticas e a humanização na atenção ao neonatal.

> Seguindo essas orientações, a RDC 50, de 21 de fevereiro de 2002 orienta os gestores durante a construção e reforma desses ambientes para que os espaços atendam as boas práticas mencionadas. No caso da unidade de terapia intensiva neonatal, deve existir uma área mínima para cada berço de 6,5 m², e uma distância entre paredes e berço igual a 1 metro de distância, exceto cabeceira, já a distância entre berços deve ser de 2 metros. Segundo o Ministério da Saúde, o ideal seria que cada berço tivesse disponível 7,0 m² (Ministério Da Saúde, 2018).

Visto isso, é necessário ressaltar que o espaço informado acima é de suma importância para que o setor tenha condições suficientes para atender e tratar os recém-nascidos graves ou potencialmente graves, permitindo livre e fácil circulação da equipe e equipamentos, bem como prestar assistência nutricional e distribuir alimentação aos neonatos.

2.4 Software PCXMC

A otimização de dose a partir da implementação de ajustes das técnicas devido a troca de aparelho ou melhoria no posicionamento implica sempre na análise da imagem obtida. gerar uma imagem representa aplicar dose no paciente. O uso do software para estimativa de dose é ideal, pois possibilita o estudo de resultados de dose, sem a necessidade de exposição do paciente ou equipe. Os diversos resultados obtidos nas simulações permitem uma análise em prol da minimização da dose absorvida, por meio da análise dos fatores técnicos utilizados e seus efeitos estocásticos. Pode ser incluída como uma etapa importante no processo de otimização de dose, pois, antes de se aplicar a nova técnica na obtenção de imagens radiográficas com pacientes reais, já se possuem valores estimados de dose através de estudos e simulações.

O software PCXMC é um programa no qual é possível calcular a dose recebida pelo paciente, conforme afirma Amara:

> O software PC program for X-ray Monte Carlo (PCXMC) é um programa computacional que utiliza o método de Monte Carlo para calcular a dose recebida pelos pacientes, de diferentes idades e medidas, expostos a exames que utilizam os raios X. O software calcula a dose para 29 órgãos e tecidos, incluindo: medula óssea ativa, cérebro, mamas, intestino grosso superior e inferior, coração, rins, fígado, pulmões, nódulos linfáticos, músculos, esôfago, ovários, pâncreas, próstata, glândulas salivares, ossos, pele, intestino delgado, testículos, tireoide, bexiga e útero. (Tapiovaara; Siskoen, 2008 *apud* Amaral, 2020, p, 22).

Silva (2022) apresenta as técnicas referentes à proteção radiológica na UTIn. o programa PCXMC disponibiliza phantoms infantis e informa detalhadamente a dose absorvida em cada órgão, em especial os órgãos como: crânio, órbita, tireóide e gônadas. Foi possível para Silva adquirir simulações com os parâmetros técnicos apresentados como ideais , simulando no programa PCXMC para obter os valores da dose.

O PCXMC é um programa computacional criado na Suécia, com o qual é possível fazer a simulação de exames radiográficos de neonatos a adultos, alterando-se tensão, distância e colimação, entre outros parâmetros. Ou seja, o exame é simulado no computador não havendo nenhuma dose de exposição

ocupacional, médica ou de indivíduos do público (Amaral, 2020)

Na literatura foram encontrados para esse trabalho apenas 4 artigos que tratam de radiografias pediátricas, e 1 artigo utilizando o programa PCXMC, como o **Uso do Software PCX-Ray Monte Carlo para Estimativa de Doses na Radiologia: Um Estudo das Evidências Científicas**. Amaral por meio do programa PCXMC e doses estimadas, conseguiu aprofundar estudos que ajudassem a minimizar doses e efeitos nocivos para os pacientes, e certificar-se que o programa PCXMC é considerado uma ferramenta útil para a estimativa da dose na radiologia, tendo sido indicado pelos estudos analisados como um método fácil e rápido quando comparado ao método “in vitro” (Amaral, 2020).

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa contou com uma abordagem quantitativa experimental aplicada que teve por finalidade avaliar a dose recebida pelo indivíduo em uma Unidade de Terapia Intensiva Neonatal (UTIn), utilizando um programa computacional para que assim seja possível adquirir os resultados esperados sem infringir o princípio da otimização de dose.

A propósito, a pesquisa experimental, “tem por finalidade esclarecer e proporcionar uma visão geral em dimensões mais ampliadas acerca de um determinado fato” (Dyniewicz, 2009, p.92).

Segundo Richardson (1999), a pesquisa quantitativa é caracterizada pelo emprego da quantificação, tanto nas modalidades de coleta de informações quanto no tratamento delas por meio de técnicas estatísticas.

3.1 Definição de parâmetros

Para simular os exames radiográficos em neonato, foi escolhido o software PCXMC, na sua 12ª versão, devido à disponibilidade dele nos computadores do IFSC e por já possuir estudos publicados relacionados à temática abordada neste trabalho, como o de Amaral que já foi citado em parágrafos anteriores. (Amaral, 2020).

Através de pesquisas bibliográficas foi possível ter a informação de parâmetros técnicos já utilizados em trabalhos de pesquisas anteriores, que estudaram a radioproteção no ambiente de UTI neonatal. Conforme afirma Silva (2022), as técnicas corretas para obtenção de imagens com qualidade diagnóstica devem seguir os seguintes valores, ajustadas ao equipamento disponível na UTI neonatal é:

Tabela 1: Parâmetros técnicos sugeridos em UTIn.

Tipos de Exames	kVp	mA	Tempo (S)	mAs	Recep. Imag	D.F.R.	Grade
Tórax recém-nascido AP	40 a 50	100	**0.01**	1	24 x30	1m.	Sem

fonte: Silva, 2018

O estudo não objetivou medir a dose absorvida nos exames para esses parâmetros. No entanto, é preciso identificar qual é a dose absorvida que os órgãos de risco estão recebendo e o quanto isso prejudica o mesmo.

As distâncias usadas no programa PCXMC para demonstrar o espaço entre a fonte e o detector de radiação durante a simulação de exames foram de 80 cm, 90 cm, 100 cm e 110 cm. Vale ressaltar que o feixe primário permaneceu direcionado para o centro do phantom infantil, em que se simulou o exame de tórax de um neonato.

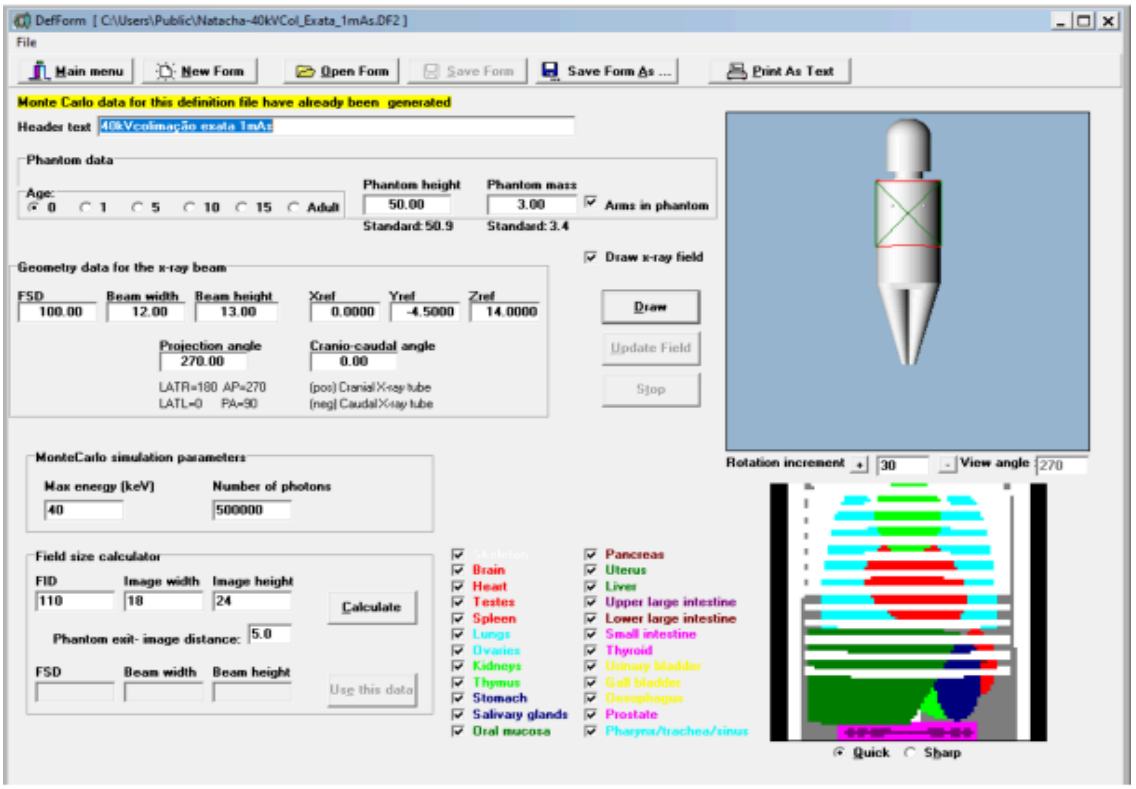
Conforme os parâmetros informados no parágrafo acima, simulando exames reais que acontecem na UTI neonatal, eles foram variados também para 4 valores de tensão: 40 kV, 45 kV, 50 kV e 55 kV, com corrente anódica fixada em 100 mA e 2 tipos de colimação: exata para largura 12 cm e altura 13 cm (representando proteção dos órgãos sensíveis), e aberta para largura 15 cm e altura 20 cm (incluindo os órgãos sensíveis).

Com isso, através do programa PCXMC, foram feitas simulações variando todos os parâmetros para verificar os resultados da dose absorvida com fatores técnicos diferentes.

Na janela *examination data* do software (Figura 4), é possível modificar alguns parâmetros técnicos, e no caso deste trabalho foram ajustados: idade zero, altura 50cm, peso 3 kg, D.F.F de 80 cm, 90 cm, 100 cm e 110 cm, colimação exata e aberta e tensão de 40 kV, 45 kV, 50 kV e 55 kV, pois assim é possível identificar uma precisão maior dos resultados da simulação e efetuar as devidas comparações dos valores de doses recebidas.

Conforme Figura 4, podemos identificar os fatores técnicos ajustados.

Figura 4 Tela inicial para configuração dos parâmetros.

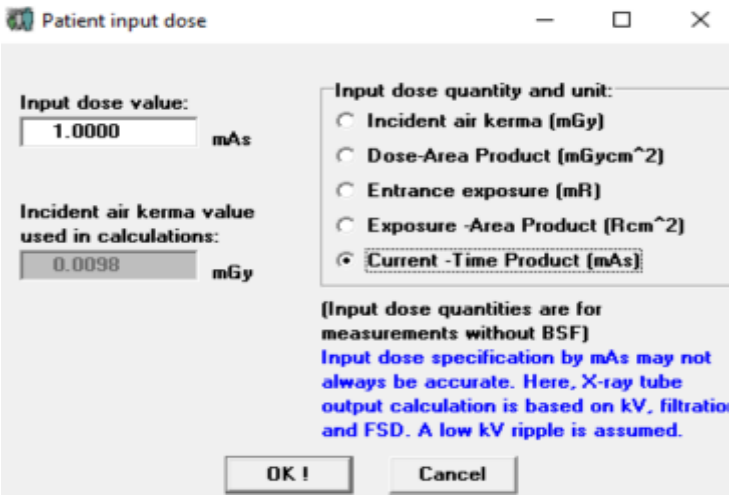


Além disso, na imagem acima, que é a tela inicial do sistema, é possível identificar em forma de imagem os órgãos que receberam a dose de radiação através da colimação escolhida.

3.2 Análise dos resultados

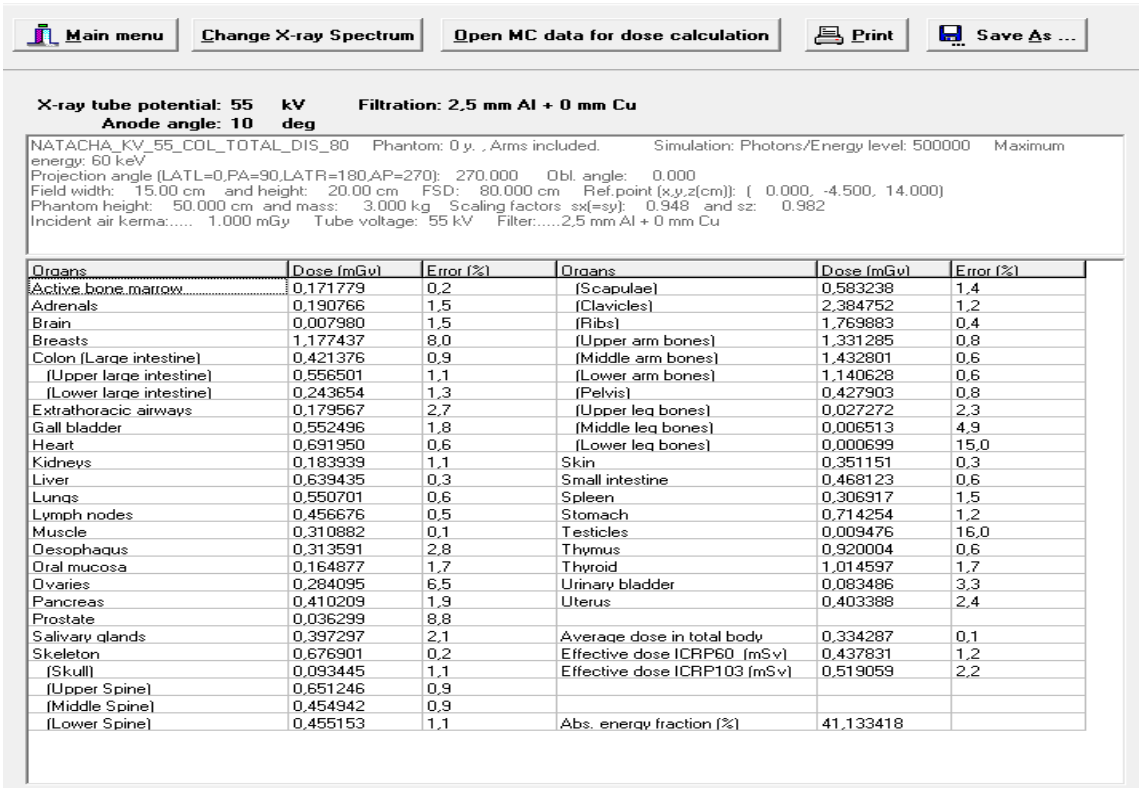
Com os resultados obtidos das simulações do programa PCXMC, foram feitas comparações para determinar a dose ideal e a consequência de cada fator técnico utilizado. Os dados foram tabulados numa planilha eletrônica e verificado o aumento ou diminuição das doses nos diversos órgãos de interesse. A estimativa de dose foi realizada conforme o produto corrente-tempo estipulado para todos os exames de 1 mAs. Conforme figura 5:

Figura 5 - Tela de normalização da dose.



Com o resultado dessa simulação, temos a informação em valores na unidade mGy de diversos órgãos, porém, para esse trabalho foram escolhidos os órgãos de maior radiossensibilidade: Útero, Tireoide, Timo e Testículos.

Figura 6 Exemplo de relatório da simulação.



Main menu | Change X-ray Spectrum | Open MC data for dose calculation | Print | Save As ...

X-ray tube potential: 55 kV **Filtration: 2,5 mm Al + 0 mm Cu**
Anode angle: 10 deg

NATACHA_KV_55_COL_TOTAL_DIS_80 Phantom: 0 y, , Arms included. Simulation: Photons/Energy level: 500000 Maximum energy: 60 keV
Projection angle (LATL=0,PA=90,LATR=180,AP=270): 270.000 Obl. angle: 0.000
Field width: 15.00 cm and height: 20.00 cm FSD: 80.000 cm Ref.point (x,y,z(cm)): (0.000, -4.500, 14.000)
Phantom height: 50.000 cm and mass: 3.000 kg Scaling factors sx(=sy): 0.948 and sz: 0.982
Incident air kerma:..... 1.000 mGy Tube voltage: 55 kV Filter:.....2,5 mm Al + 0 mm Cu

Organs	Dose (mGy)	Error (%)	Organs	Dose (mGy)	Error (%)
Active bone marrow	0,171779	0,2	(Scapulae)	0,583238	1,4
Adrenals	0,190766	1,5	(Clavicles)	2,384752	1,2
Brain	0,007980	1,5	(Ribs)	1,769883	0,4
Breasts	1,177437	8,0	(Upper arm bones)	1,331285	0,8
Colon (Large intestine)	0,421376	0,9	(Middle arm bones)	1,432801	0,6
(Upper large intestine)	0,556501	1,1	(Lower arm bones)	1,140628	0,6
(Lower large intestine)	0,243654	1,3	(Pelvis)	0,427903	0,8
Extrathoracic airways	0,179567	2,7	(Upper leg bones)	0,027272	2,3
Gall bladder	0,552496	1,8	(Middle leg bones)	0,006513	4,9
Heart	0,691950	0,6	(Lower leg bones)	0,000699	15,0
Kidneys	0,183939	1,1	Skin	0,351151	0,3
Liver	0,639435	0,3	Small intestine	0,468123	0,6
Lungs	0,550701	0,6	Spleen	0,306917	1,5
Lymph nodes	0,456676	0,5	Stomach	0,714254	1,2
Muscle	0,310882	0,1	Testicles	0,009476	16,0
Oesophagus	0,313591	2,8	Thymus	0,920004	0,6
Oral mucosa	0,164877	1,7	Thyroid	1,014597	1,7
Ovaries	0,284095	6,5	Urinary bladder	0,083486	3,3
Pancreas	0,410209	1,9	Uterus	0,403388	2,4
Prostate	0,036299	8,8			
Salivary glands	0,397297	2,1	Average dose in total body	0,334287	0,1
Skeleton	0,676901	0,2	Effective dose ICRP60 (mSv)	0,437831	1,2
(Skull)	0,093445	1,1	Effective dose ICRP103 (mSv)	0,519059	2,2
(Upper Spine)	0,651246	0,9			
(Middle Spine)	0,454942	0,9			
(Lower Spine)	0,455153	1,1	Abs. energy fraction (%)	41,133418	

3.3 Aspecto ético

Devido às suas características, esta pesquisa de natureza experimental não precisou passar por um Comitê de Ética, por não envolver pesquisa com seres humanos, nem diretamente e nem indiretamente, isto não quer dizer que devemos desconsiderar as questões éticas. Segundo Minayo (2007, p.55):

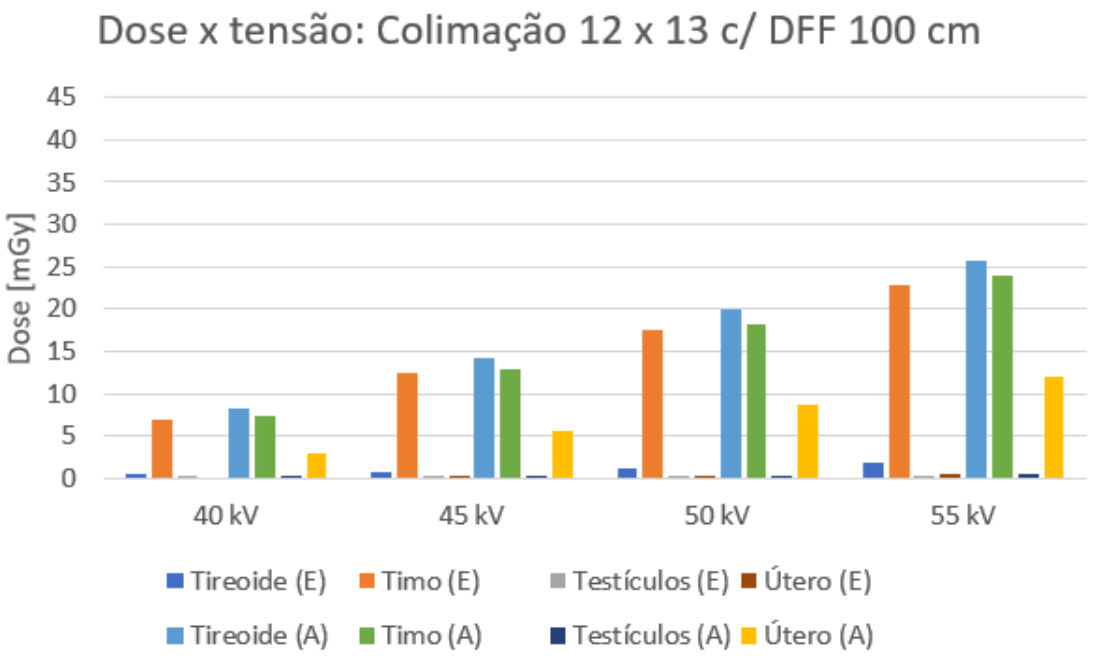
> todo projeto de pesquisa deve conter em sua redação compromissos em não ferir a ética da elaboração de textos científicas. Um dos comportamentos antiéticos mais comuns, além do plágio, é a fraude, ou seja, quando o pesquisador inventa deliberadamente dados inexistentes de modo a justificar e embasar suas propostas.

Diante de tais questões éticas, a pesquisadora compromete-se com as informações aqui descritas, assim como com as interpretações relacionadas com o resultado da pesquisa. Também cabe destacar que não houve exposição a radiação ionizante devido a simulação ser efetuada no programa PCXMC.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

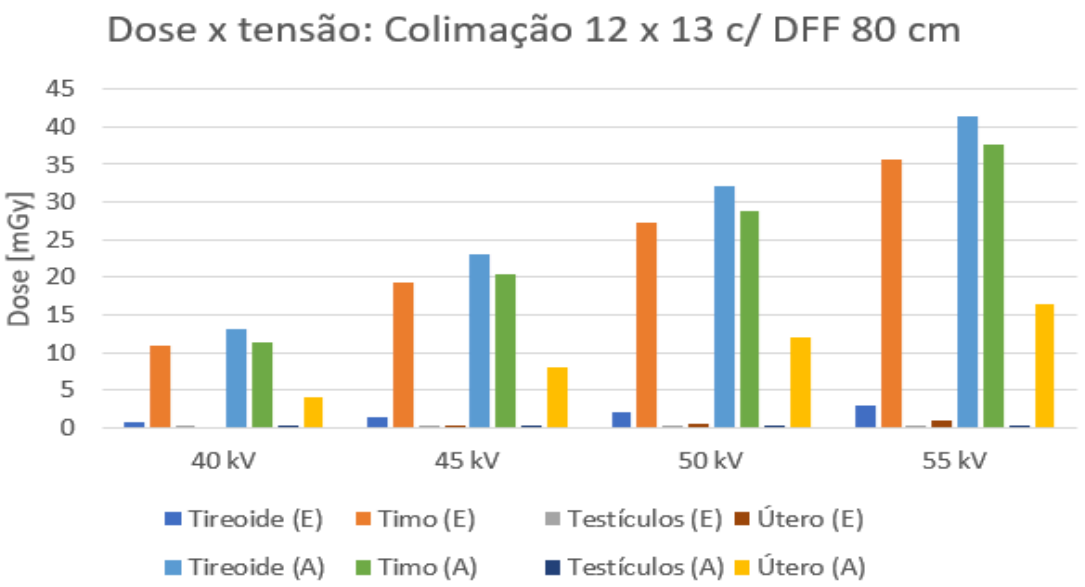
Após a obtenção e tabulação dos dados, foi analisada a dose absorvida entregue ao paciente, verificando a influência da colimação na absorção da dose nos órgãos escolhidos. Dessa forma, usando os passos da simulação descritos, tabulamos os valores fornecidos em cada simulação nos gráficos abaixo, sendo possível identificar a influência de cada parâmetro técnico no valor da dose absorvida em cada um dos órgãos. Conforme gráfico 1:

Gráfico 1- Resultado dos parâmetros da tabela com distância de 100 cm



Analisando o gráfico acima, tendo o eixo X os valores da tensão e o eixo Y os valores da dose, e que os órgãos com a nomenclatura (E) reference a colimação exata e (A) de colimação aberta. Identificamos então que utilizando a mesma distância, porém, modificando a tensão e a colimação, os órgãos como tireoide, timo, testículo e útero recebem doses maiores nas colimações abertas do que nas colimações exatas, e com isso, percebe-se a importância da colimação.

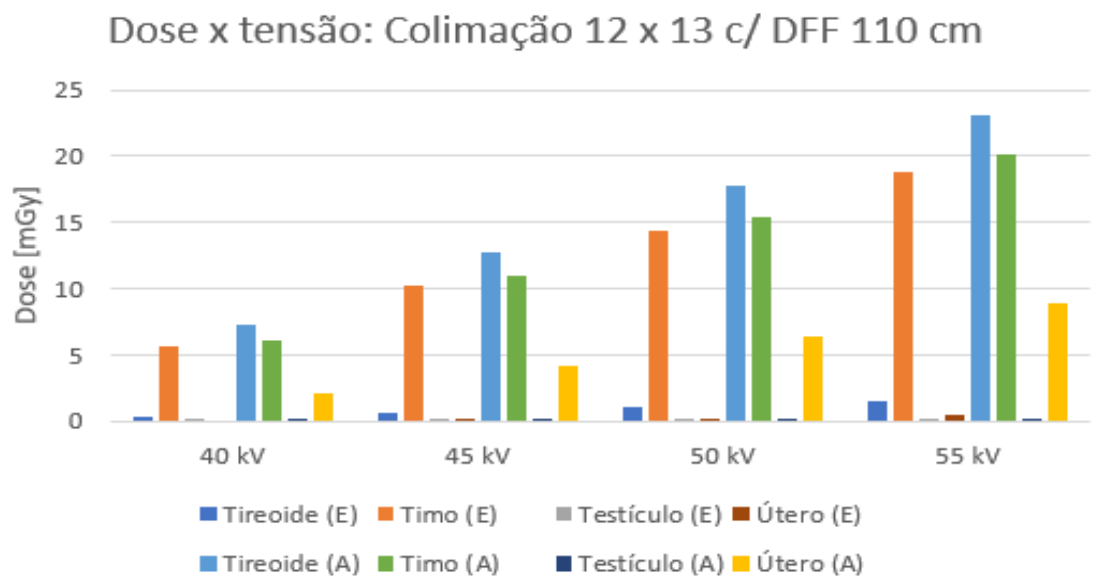
Gráfico 2- Resultado dos parâmetros da tabela com distância de 80 cm



O gráfico 2, mostra o resultado quando o tecnólogo realiza o exame numa distância menor, de 80 cm. E com isso percebemos, que a dose aumentou quando diminuímos a distância, os valores das doses aumentam para todos os órgãos de risco ali analisados.

Por outro lado, o aumento da distância (110 cm) entre o neonato e o tubo radiográfico diminui a dose, conforme apresenta o gráfico 3.

Gráfico 3- Resultado dos parâmetros da tabela com distância de 110 cm



Numa análise apenas da distância para a técnica padrão de 45 kV, pode-se verificar que a dose aumenta 50% para o órgão da tireoide para redução de 20 cm na DFF (100 cm -> 80 cm). Com isso é evidente a precaução com os parâmetros técnicos a serem utilizados na realização de um exame. É perceptível o quanto a distância influencia na realização do exame e da dose entregue ao paciente.

Conforme estudo realizado em uma UTI em um hospital público em Belo Horizonte, os autores dessa pesquisa informam que na realização do exame os parâmetros técnicos não foram cumpridos. Afirmam Lacerda et al, 2008:

> [...] a distância foco-filme é menor do que a recomendada pela publicação européia (100 a 150 cm).

Conforme afirma o artigo de noções básicas de captura de imagem para técnicos em radiologia, a colimação reduz a radiação dispersa ao paciente. Carestream (2020, p.1):

> A *colimação* – ou dispositivos limitadores de feixe – é utilizada para reduzir a quantidade de radiação desnecessária dispersa ao paciente. Ao diminuir a radiação dispersa, você aumenta os detalhes e o contraste da imagem

Sendo assim, o Departamento de Saúde e Meio Ambiente do Estado do Colorado (EUA) desenvolveu um guia interpretativo (Interpretive guidance of Use of Portable or Mobile X-ray Units)(CDPHE, 2010) e dentre as regras estabelecidas está a regra abaixo. Soares (2018, p.29):

> 6.6.3.5: Distância da fonte a distância da pele: cada sistema de imagem radiográfico móvel ou portátil deve ser dotado de meios para limitar a distância da fonte da pele a igual ou maior que 30 cm.

E se tratando de tensão, a apostila de física publicada informa. Soares Júlio (2008, p.70):

> De forma mais precisa, se aumentarmos uma tensão de 85 kV em

15%, ou seja, de 85 kV para 98 kV, e mantivermos o tempo e o mA selecionados anteriormente, aí sim a exposição dobra.

Dessa forma, junto aos resultados do gráfico apresentado é notório identificar que para os 4 tipos de tensão, com distância de 80 cm nos órgãos: Útero, Tireoide, Timo e Testículos, a diferença na simulação com colimação exata de 12 x 13 cm (C.E) e colimação aberta de 15 x 20 cm (C.A) foi conforme tabela 2:

Tabela 2 - Diferença da dose entregue a cada órgão de risco em uma distância de 80 cm.

Tensão (kV)	DISTÂNCIA (cm)	Útero (C.A) (mGy)	Útero (C.E) (mGy)	VARIAÇÃO (vezes)	Timo (C.A) (mGy)	Timo (C.E) (mGy)	VARIAÇÃO (vezes)
40	80	4,095	0,228	17,96 x	11,406	10,904	1,04 x
45	80	7,958	0,516	15,42 x	20,361	19,385	1,05 x
50	80	11,98	0,868	13,80 x	28,753	27,292	1,05 x
55	80	16,474	1,295	12,72 x	37,573	35,601	1,05 x
kV	DISTÂNCIA (cm)	Tireoide (C.A) (mGy)	Tireoide (C.E) (mGy)	VARIAÇÃO (vezes)	Testículos (C.A) (mGy)	Testículos (C.E) (mGy)	VARIAÇÃO (vezes)
40	80	13,167	0,652	20,19 x	0,074	0,008	9,25 x
45	80	23,076	1,309	17,62 x	0,154	0,028	5,50 x
50	80	32,105	2,02	15,89 x	0,253	0,058	4,36 x
55	80	41,436	2,84	14,59 x	0,387	0,097	3,98 x

Conforme a tabela acima, podemos verificar que utilizando a mesma tensão de 40 kV, a mesma distância de 80 cm e mudando apenas a colimação, se pegarmos o órgão de risco útero, percebemos que a variação de dose é de 17 vezes. Sendo assim, é notório o quanto a colimação influência na dose entregue ao paciente.

Com isso, para os 4 tipos de tensão, com distância de 90 cm nos órgãos de risco, a diferença na simulação com C.E e C.A foi conforme tabela 3:

Tabela 3 - Diferença da dose entregue a cada órgão de risco em uma distância de 90 cm.

Tensão (kV)	DISTÂNCIA (cm)	Útero (C.A) (mGy)	Útero (C.E) (mGy)	VARIAÇÃO (vezes)	INCREMENTO	Timo (C.A) (mGy)	Timo (C.E) (mGy)	VARIAÇÃO (vezes)
40	90	3,174	0,182	17,43 x	1643 %	9,067	8,655	1,047 x
45	90	6,225	0,408	15,25 x	1425 %	16,146	15,41	1,047 x
50	90	9,434	0,683	13,81 x	1281 %	22,761	21,716	1,048 x
55	90	13,029	1,034	12,60 x	1160 %	29,718	27,697	1,072 x
kV	DISTÂNCIA (cm)	Tireoide (C.A) (mGy)	Tireoide (C.E) (mGy)	VARIAÇÃO (vezes)	INCREMENTO	Testículo (C.A) (mGy)	Testículos (C.E) (mGy)	VARIAÇÃO (vezes)
40	90	10,732	0,512	20,95 x	1995 %	0,106	0	-
45	90	18,674	1,021	18,29 x	1729 %	0,200	0,001	200,0 x
50	90	25,897	1,568	16,51 x	1551 %	0,300	0,007	42,85 x
55	90	33,409	2,287	14,60 x	1360 %	0,424	0,077	5,50 x

Nesta tabela, além da variação em vezes, utilizamos o incremento em porcentagem também. podemos perceber que, usando a mesma tensão de 40 kV, a mesma distância de 90 cm, modificando somente a colimação para o órgão do útero, temos um incremento de 1643 por cento de diferença de dose.

Já para os 4 tipos de tensão, com distância de 100 cm nos órgãos de risco, a diferença na simulação com C.E e C.A foi conforme tabela 4:

Tabela 4 - Diferença da dose entregue a cada órgão de risco em uma distância de 100 cm.

Tensão (kV)	DISTÂNCIA (cm)	Útero (C.A) (mGy)	Útero (C.E) (mGy)	VARIAÇÃO (vezes)	INCREMENTO	Timo (C.A) (mGy)	Timo (C.E) (mGy)	VARIAÇÃO (vezes)
40	100	2,858	0,151	18,92 x	1792 %	7,277	6,932	1,049 x
45	100	5,638	0,334	16,88 x	1588 %	12,955	12,354	1.048 x
50	100	8,592	0,555	15,48 x	1448 %	18,266	17,428	1,048 x
55	100	11,921	0,822	14,50 x	1350 %	23,869	22,757	1,048 x
kV	DISTÂNCIA (cm)	Tireoide (C.A) (mGy)	Tireoide (C.E) (mGy)	VARIAÇÃO (vezes)	INCREMENTO	Testículo (C.A) (mGy)	Testículos (C.E) (mGy)	VARIAÇÃO (vezes)
40	100	8,205	0,409	20,06 x	1906 %	0,105	0,005	21,00 x
45	100	14,325	0,816	17,55 x	1655 %	0,231	0,018	12,83 x
50	100	19,929	1,258	15,84 x	1484 %	0,386	0,037	10,43 x
55	100	25,803	1,772	14,56 x	1356 %	0,579	0,062	9,33 x

Para os 4 tipos de tensão, com distância de 110 cm nos órgãos de risco, a diferença na simulação com C.E e C.A foi conforme tabela 5:

Tabela 5 - Diferença da dose entregue a cada órgão de risco em uma distância de 110 cm.

Tensão (kV)	DISTÂNCIA (cm)	Útero (C.A) (mGy)	Útero (C.E) (mGy)	VARIAÇÃO (vezes)	Timo (C.A) (mGy)	Timo (C.E) (mGy)	VARIAÇÃO (vezes)
40	110	2,162	0,120	18,01 x	6,137	5,727	1,071 x
45	110	4,244	0,268	15,83 x	10,945	10,194	1,073 x
50	110	6,425	0,448	14,34 x	15,443	14,370	1,074 x
55	110	8,855	0,669	13,23 x	20,176	18,761	1,075 x
kV	DISTÂNCIA (cm)	Tireoide (C.A) (mGy)	Tireoide (C.E) (mGy)	VARIAÇÃO (vezes)	Testículos (C.A) (mGy)	Testículos (C.E) (mGy)	VARIAÇÃO (vezes)
40	110	7,332	0,325	22,56 x	0,047	0,004	11,75 x
45	110	12,826	0,668	19,20 x	0,109	0,015	7,26 x
50	110	17,836	1,052	16,95 x	0,184	0,031	5,93 x
55	110	23,024	1,502	15,32 x	0,274	0,051	5,37 x

Tabela 6 - Comparação da dose com variação da tensão para DFF 100 cm e colimação exata

kV	DOSE mSv
40	0,003222
45	0,005796
50	0,008263
55	0,010905

A alteração da dose efetiva de corpo inteiro no neonato, também é significativa apenas com a alteração da tensão do exame, ainda que os demais parâmetros sejam seguidos. A variação da tensão recomendada, 40 kV, para 55 kV resulta num incremento de 238 %. Se por acaso houvesse a execução de um exame com todos os parâmetros alterados (80 cm, colimação aberta, 55 kV), a dose efetiva seria incrementada de 500%.

Com isso, foi verificado que o uso de fatores técnicos não-otimizados,

impostos pela utilização de um aparelho de raios X com baixo rendimento, não adaptado para exames em neonatos, pode estar ocasionando um comprometimento da qualidade das imagens radiográficas obtidas. No entanto, para se confirmar essa hipótese, há a necessidade de um estudo que envolva uma avaliação conjunta da dose e qualidade da imagem. É evidente a necessidade de otimização dos procedimentos com vista à diminuição do risco para os recém-nascidos, que apesar de ser considerado baixo (comparativamente ao benefício), deve ser sempre diminuído para valores tão baixos quanto razoavelmente exeqüíveis.

5 CONCLUSÃO

Baseados sempre nos princípios de justificação, otimização e limitação de dose, conclui-se a importância do uso correto dos parâmetros técnicos utilizados para a realização do exame, a fim de o neonato receber apenas a dose necessária para uma imagem radiográfica com qualidade diagnóstica. As simulações com phantom demonstraram que distâncias mais próximas do paciente e colimação além da necessária aumentam muito a dose nos órgãos sensíveis, principalmente timo e tireoide. Verificou-se que a alteração da tensão também influencia significativamente na dose, contudo, é necessário associar-se a técnica com a respectiva qualidade da imagem.

Contudo, esta pesquisa poderá auxiliar na definição de condições de segurança dos indivíduos ocupacionalmente expostos (IOE) e do paciente, além de contribuir com futuras investigações e medidas preventivas por pesquisadores que venham a se interessar pelo tema. Deixa-se como sugestão pesquisas que envolvam a qualidade da imagem, para que assim seja possível comprovar e quem sabe padronizar uma dose ideal.

6 REFERÊNCIAS

AMARAL, Tainara Lage.**Uso do Software PC Program For X-RAY Monte Carlo para estimativa de doses na radiologia**. 2020.

BOECHAT, Márcia Cristina Bastos. **Melhor prática em radiologia pediátrica: um manual para todos os serviços de radiologia**. 2007.

BRASIL. Comissão Nacional de Energia Nuclear - **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica**. CNEN NN 7.01-,abr, 2024.

BRASIL. Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde. Estabelecer os requisitos sanitários para a organização e o funcionamento de serviços de radiologia diagnóstica ou intervencionista. **RESOLUÇÃO - RDC Nº 611, 2022**. Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil, Brasília, 2022.

BRASIL. Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde. Estabelecer os requisitos sanitários para a organização e o funcionamento de serviços de radiologia diagnóstica ou intervencionista. **RESOLUÇÃO - RDC Nº 611/2022**

CARESTREAM. **NOÇÕES BÁSICAS DE CAPTURA DE IMAGEM PARA TÉCNICOS EM RADIOLOGIA.** 2020.

DYNIEWICZ, A. M. **Metodologia da pesquisa em saúde para iniciantes**. 2. ed. São Caetano do Sul: Difusão Editora, 2009. 207.

FLÔR, R. C.; KIRCHHOF, A. L.C. **Uma prática educativa de sensibilização quanto à exposição à radiação ionizante com profissionais de saúde**. Rev. Brasileira de Enfermagem, v. 59, n.3, p.274-278, jun 2006.

FREITAS, Marcelo Baptista de; YOSHIMURA, Elizabeth Mateus. **Levantamento da distribuição de equipamentos de diagnóstico por imagem a frequência de exames radiológicos no Estado de São Paulo**. Brasil, 2005.

GISLASON-LEE, AMBER J. (2021). **Patient X-ray exposure and ALARA in the neonatal intensive care unit: Global patterns**. Pediatrics & Neonatology, v. 62, n. 1, p. 3-10, 2021. https://doi.org/10.1016/j.pedneo.2020.10.009

HUHN, ANDRÉ; MAIRESSE, ANA PAULA. **RADIOLOGIA INTENSIVA**.2013.12 Dissertação (Mestrado)- Curso de Mestrado Profissionalizante em Terapia Intensiva, Sociedade Brasileira de Terapia Intensiva- Sobrati, São Paulo,2013.

LACERDA MARCO, Silva Teógenes, Khoury Helen, Vieira José e Matushita. **Riscos dos exames radiográficos em recém-nascidos internados em um hospital público de Belo Horizonte**, MG, 2008.

MARQUES, Francine Póvoas. **Exames de raios X no leito e proteção radiológica: a realidade das unidades de internação.** Florianópolis, 2018.

BRASIL. **Manual para elaboração de projetos arquitetônicos da rede cegonha**. Brasília, 2018.

MINAYO, Maria Cecília de Souza et al (Org.). **Pesquisa Social: teoria, método e criatividade**. 25. ed. Petrópolis: Vozes, 2007. 96 p.

NAVARRO, Marcus Vinicius Teixeira *et al.* Controle de riscos à saúde em radiodiagnóstico: uma perspectiva histórica. **Hist. cienc. saúde-Manguinhos**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 4, p. 1039-1047, Dec. 2008. Available from . access on 19 Oct. 2017. http://dx.doi.org/10.1590/S0104-59702008000400009.

CARESTREAM, Noções Básicas de Captura de Imagem para Técnico em Radiologia, **Os três pilares da imagiologia de raios X constante e de alta qualidade.**

PEREIRA. **Equipamentos radiológicos**. [s.l.]: [s.n],2013.

ROCHA, FRANCISCO JOSÉ SALVINO. (2018). **A utilização de raios X em diagnóstico por imagem** 2018. Trabalho de conclusão de curso (Graduação)- Faculdade de Licenciatura em Física, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Parnaíba-PI, 2018.

ROS, Renato Assenci *et al.* **Metodologia de controle de qualidade de equipamentos de raios x (nível diagnóstico) utilizados em calibração de instrumentos**. São Paulo, SP: IPEN/USP, 2000

SEGUNDO, Willams; Barros, Rena; Camelo, Nathália; Martins, Ana; Ramos; Háira e Almeida, Carme. **A importância das unidades de terapia intensiva neonatal (UTIN) e de cuidados intermediários neonatal (UCIN) para os recém-nascidos prematuros.** Rev. Nova Esperança, 2018.

SIAT, Poa. **Sistema de Informações sobre Agentes Teratogênicos - Bahia - UFBA.** 2020.

SILVA, Luiz Carlos Nascimento. **PROTEÇÃO RADIOLÓGICA NA UNIDADE DE TERAPIA INTENSIVA NEONATAL**. Florianópolis, SC, 2022.

SOARES, Flávio Augusto; LOPES, Henrique Batista. **Equipamento Radiográfico e Processamento de Filme**. Bookman Editora, 2015.

SOARES, Júlio César. **Princípios de Física em Radiodiagnóstico,** São Paulo, 2008.

SOARES, Ana Clara. **Boas Práticas na Realização de Exames Radiográficos com Equipamento Móvel,** Florianópolis, 2018.

TAPIOVAARA, M.; SIISKONEN, Teemu. **PCXMC: a monte carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations**. 2. ed. Helsinki: Stuk, 2008a.