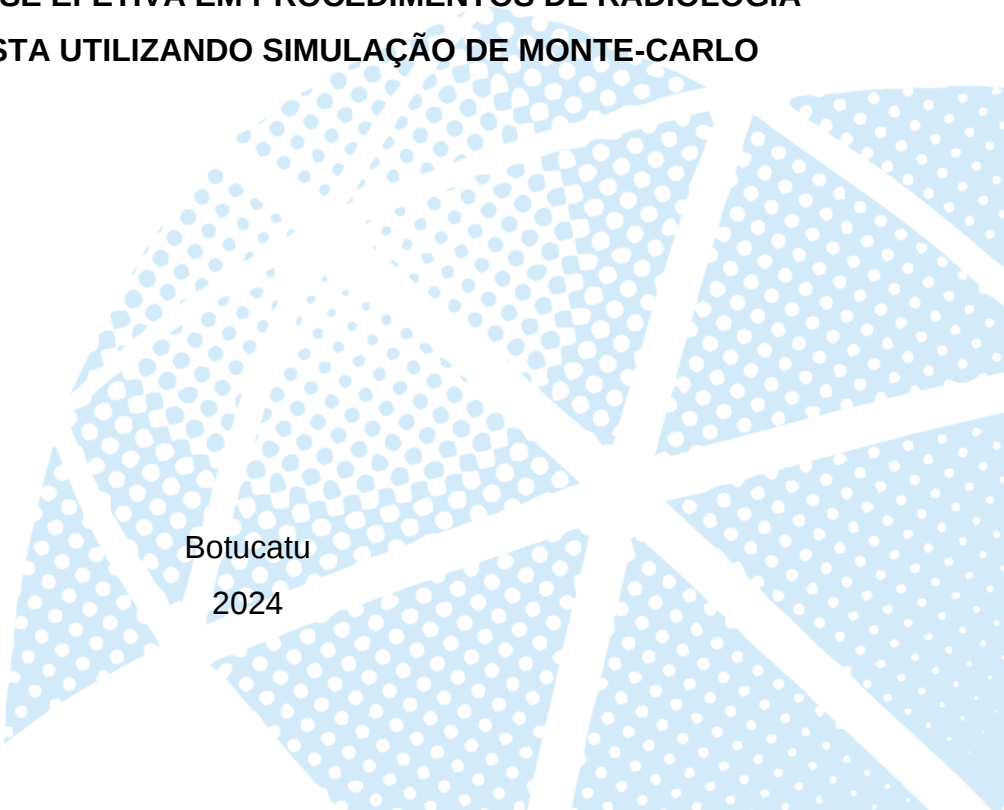


UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
Faculdade de Medicina de Botucatu - Campus de Botucatu

TÚLIO GUILHERME SOARES MARQUES

**ESTIMATIVA DA DOSE EFETIVA EM PROCEDIMENTOS DE RADIOLOGIA
INTERVENCIONISTA UTILIZANDO SIMULAÇÃO DE MONTE-CARLO**

Botucatu
2024



TÚLIO GUILHERME SOARES MARQUES

**ESTIMATIVA DA DOSE EFETIVA EM PROCEDIMENTOS DE RADIOLOGIA
INTERVENCIONISTA UTILIZANDO SIMULAÇÃO DE MONTE-CARLO**

Trabalho de Conclusão de Residência
apresentada à Universidade Estadual
Paulista (UNESP), Faculdade de Medicina
de Botucatu, Botucatu, para obtenção do
título de Especialista em Radiodiagnóstico.

Física Médica

Orientador(a): Prof^ª. Dra. Diana Rodrigues
de Pina

Coorientador(a): Dr. Matheus Alvarez

Botucatu

2024

Marques, Túlio Guilherme Soares.

Estimativa da dose efetiva em procedimentos de radiologia intervencionista utilizando simulação de monte-carlo / Túlio Guilherme Soares Marques. - Botucatu, 2024

Trabalho acadêmico (Residência Multiprofissional em Física Médica do Radiodiagnóstico) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Medicina de Botucatu

Orientador: Diana Rodrigues de Pina

Coorientador: Matheus Alvarez

Capes: 10500006

Método de Monte Carlo. 2. Níveis de Referência de Diagnóstico. 3. Radiologia intervencionista.

Palavras-chave: Método de monte carlo; Níveis de referência de diagnóstico; Radiologia intervencionista

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Este trabalho marca um avanço na monitoração dos níveis de exposição do setor de hemodinâmica, descrevendo uma importante ferramenta para otimização das doses e exercício da radioproteção do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu. O trabalho também pode ser aplicado em qualquer outra instituição com o mesmo equipamento de fluoroscopia, e a ferramenta descrita marca um passo importante para a determinação de Níveis de Referência de Diagnóstico Local (LDRLs) e estimativas de Dose Efetiva em qualquer instituição.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This work marks an advance in monitoring exposure levels in the hemodynamics sector, describing an important tool for optimizing doses and exercising radioprotection at the Hospital das Clínicas of the Faculty of Medicine of Botucatu. The work can also be applied in any other institution with the same fluoroscopy equipment, and the tool described marks an important step towards determining Local Diagnostic Reference Levels (LDRLs) and Effective Dose estimates in any institution.

TÚLIO GUILHERME SOARES MARQUES

**ESTIMATIVA DA DOSE EFETIVA EM PROCEDIMENTOS DE RADIOLOGIA
INTERVENCIONISTA UTILIZANDO SIMULAÇÃO DE MONTE-CARLO**

Trabalho de Conclusão de Residência apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Medicina de Botucatu, Botucatu, para obtenção do título de Especialista em Radiodiagnóstico.

Física Médica

Data da defesa: ____/____/____

Banca Examinadora:

Dr. Allan Felipe Fattori Alves
Instituto de Biociências – Unesp / Botucatu

Dr. Matheus Alvarez
Hospital de Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu – FMB / Botucatu

Ms. Raissa Alexia Camargo Guassu
Instituto de Biociências – Unesp / Botucatu

Prof^a. Dra. Diana Rodrigues de Pina
Departamento de Doenças Tropicais e Diagnóstico por Imagem da Faculdade de
Medicina de Botucatu – Unesp / Botucatu

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial à minha mãe Warlen Fernandes e seu companheiro José Máximo e ao meu pai Edson Tulio e sua companheira Alethea Faria, por terem batalhado para que eu chegasse ao ponto em que estou. O que mais desejo é encher vocês de orgulho.

Aos meus colegas de residência Ana Milani, Ana Ferreira, André Próspero, Bárbara Sakamoto, Lucas Jensen, Rafael Zambuzi, Samara Pavan e Vinícius Souza, por compartilharem essa jornada tão peculiar e intensa comigo. Em especial, aos meus tão queridos R1s, Amanda Rosa e Hiles Carvalho, pelas risadas, confusões e convivências. Torço muito para o sucesso e a felicidade de todos vocês.

Ao Marcos Aureliano, pelo companheirismo, risadas, discussões e momentos intensos durante esses dois anos. Eu aprendi algo novo com você todo dia, e espero que mantenhamos contato para sempre.

À Raissa Guassu, pela alegria contagiante e bom humor, que nunca falhou em melhorar o dia de todos.

À minha amável e doce companheira Ingrid Estevam, que me apoiou todos os dias desde que nos conhecemos e me motiva todos os dias. Você é tudo para mim.

Ao meu preceptor Matheus Alvarez, pelos constantes ensinamentos e pela exigência pela excelência, e à coordenação, compostos pelo Professor José Ricardo Miranda e pela Professora Diana Rodrigues de Pina, pela enorme confiança. Sou grato pela oportunidade e nunca esquecerei dos momentos de aprendizados com os Senhores.

Aos alunos de Física Médica da UNESP Botucatu, Ana Carolina Redondo, João Vitor e Yuri Vitor, pelo enorme interesse em ajudar e fazer parte dos projetos apresentados.

Aos meus amigos em Campinas que contribuíram de maneira direta ou indireta para que eu chegasse até aqui. Vocês sabem que podem contar comigo até o fim.

E por fim, a todos que contribuíram ao meu amadurecimento pessoal e profissional nessa jornada.

“Diz-se que uma flor de lótus floresceu sob cada uma de suas sete pegadas. Dizem-nos que ele então levantou uma mão para cima e declarou: “Por tudo acima dos céus e por tudo abaixo dos céus, eu sozinho sou O Abençoado””.

(Citação Budista; tradução livre).

RESUMO

Os procedimentos de radiologia intervencionista são de grande interesse de estudo em termos de radioproteção. O estudo dos valores de Dose Efetiva a que os pacientes estão submetidos é de grande importância, sendo necessária a criação de metodologias para determinar esses valores de forma prática. Neste trabalho foi desenvolvido um software semiautomático que utiliza tecnologia de Reconhecimento Óptico de Caracteres para criar um banco de dados composto por informações sobre tipo de procedimento, valor de Kerma no Ar, Produto Kerma-Área, número de exposições e tempo de exposições para 1125 procedimentos realizados em janeiro. 2021 a setembro de 2023 usando um angiógrafo de um grande hospital. Os níveis de referência de diagnóstico locais (LDRLs) foram determinados. Utilizando o software de simulação PCXMC 2.0 Monte Carlo, os valores de Dose Efetiva foram calculados usando tanto hospitais de grande porte quanto LDRL determinados em estudos posteriores. Conclui-se que tanto os LDRL quanto a Dose Efetiva calculada estão em geral abaixo dos valores descritos na literatura, sendo validada a robustez da metodologia de implementação da radioproteção e monitoramento da dose no setor de hemodinâmica avaliado.

Palavras-chave: Radiologia Intervencionista; Método de Monte Carlo; Níveis de Referência de Diagnóstico.

ABSTRACT

Interventional radiology procedures are of great study interest in terms of radioprotection. The study of the Effective Dose values to which patients are subjected is of great importance, and it is necessary to create methodologies to determine these values in a practical way. In this work, semi-automatic software was developed that uses Optical Character Recognition technology to create a database composed of information on type of procedure, Air Kerma value, Kerma-Area Product, number of exposures and time of exposures for 1125 procedures performed in January 2021 to September 2023 using an angiograph from a large hospital. Local Diagnostic Reference Levels (LDRLs) were determined. Using the PCXMC 2.0 Monte Carlo simulation software, Effective Dose values were calculated using both large hospital's and LDRL determined in later studies. It is concluded that both the LDRLs and the calculated Effective Dose are in general below the values described in the literature, and the robustness of the methodology for implementing radioprotection and dose monitoring in the evaluated hemodynamics sector is validated.

Keywords: Interventional Radiology; Monte Carlo method; Diagnostic Reference Levels.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relatório DICOM fornecido pelo equipamento	2
Figura 2 – Fluxograma de funcionamento do software de OCR autoral	3
Figura 3 – Exemplo da interface do software PCXMC 2.0	3
Figura 4 – Distribuição dos valores de K por procedimento avaliado	4
Figura 5 – Distribuição dos valores de PKA por procedimento avaliado	5
Figura 6 – Distribuição dos valores de T por procedimento avaliado	5
Figura 7 – Distribuição dos valores de N por procedimento avaliado	6

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Mediana, média e valor de terceiro quartil para as grandezas K, KAP, T e N para os quatro procedimentos avaliados	4
Tabela 2 – Valores de terceiro quartil para KAP deste trabalho e da literatura com os respectivos valores de Dose Efetiva calculados	6

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Cf	Fator de Conversão entre Dose para Dose Efetiva
DRL	Nível de Referência de Diagnóstico
E	Dose Efetiva
ICRP	Comissão Internacional de Proteção Radiológica
K	Kerma no ar
KAP	Produto Kerma Área
LDRL	Nível de Referência de Diagnóstico Local
N	Números de aquisições em modo cine
Q	Valor de terceiro quartil
T	Tempo de exposição por procedimento

LISTA DE SÍMBOLOS

Cf	Fator de Conversão entre Dose para Dose Efetiva
----	---

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	METODOLOGIA	2
3	RESULTADOS	4
4	DISCUSSÃO	6
5	CONCLUSÃO	7
	REFERÊNCIAS	7

Estimativa de Dose Efetiva em procedimentos de Radiologia Intervencionista utilizando simulação de Monte-Carlo

Resumo

Os procedimentos de radiologia intervencionista são de grande interesse de estudo em termos de radioproteção. O estudo dos valores de Dose Efetiva a que os pacientes estão submetidos é de grande importância, sendo necessária a criação de metodologias para determinar esses valores de forma prática. Neste trabalho foi desenvolvido um software semiautomático que utiliza tecnologia de Reconhecimento Óptico de Caracteres para criar um banco de dados composto por informações sobre tipo de procedimento, valor de Kerma no Ar, Produto Kerma-Área, número de exposições e tempo de exposição para 1125 procedimentos realizados de janeiro de 2021 a setembro de 2023 usando um angiógrafo de um hospital de grande porte. Os Níveis de Referência de Diagnóstico Locais (LDRLs) foram determinados e utilizando o software de simulação PCXMC 2.0, calcula-se a Dose Efetiva usando valores de referência deste estudo e também de outras instituições. Conclui-se que os valores de LDRL e de Dose Efetiva calculados para a instituição avaliada estão em geral abaixo dos valores descritos na literatura, sendo validada a robustez da metodologia de monitoramento da dose no setor de hemodinâmica avaliado.

.© 2017 Elsevier Inc. All rights reserved.

Palavras-chaves: Radiologia Intervencionista; Método de Monte Carlo; Níveis de Referência de Diagnóstico.

Nomenclatura

Cf	Fator de conversão entre Dose e Dose Efetiva
DRL	Níveis de Referência de Diagnóstico
E	Dose Efetiva
K	Kerma no Ar
LDRL	Níveis de Referência de Diagnóstico Local
KAP	Produto Kerma-Área
N	Número de aquisições em modo cine
Q	Valor de terceiro quartil
s	Área do campo quadrado de radiação
T	Tempo de exposição por procedimento

1. Introdução

Nas últimas décadas, houve um aumento significativo no número de procedimentos de radiologia intervencionista [1]. Esses procedimentos requerem atenção especial quanto aos efeitos nocivos da radiação ionizante, uma vez que a complicação de alguns procedimentos, o longo tempo de exposição e o número de exposições aumentam a dose absorvida pelos pacientes [2]. Tendo em vista o crescente número de procedimentos, é essencial um estudo aprofundado dos níveis de Dose utilizados nos procedimentos.

Uma das formas de avaliar a prática clínica nos setores de radiologia intervencionista é determinação de Níveis de Referência de Diagnóstico (DRL). Esses níveis servem como uma indicação se, para um determinado procedimento realizado, o valor da Dose recebida por um paciente é maior ou menor que um valor de Dose típico para este procedimento [3]. Os primeiros DRLs foram implementados em procedimentos de radiografia convencional na década de 1980 e foram desenvolvidos para outras modalidades na década de 1990 [4]. A determinação dos DRLs está associada à otimização da dose [5] e considera dezenas de instituições e equipamentos para determinação dos valores, estabelecidos pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) como o valor do terceiro quartil da magnitude dosimétrica da distribuição avaliada para um determinado diagnóstico clínico procedimento [4]. Porém, o estudo do valor típico de um procedimento pode ser realizado dentro de uma única instituição ou de um único

equipamento, por meio da determinação de Níveis de Referência de Diagnóstico Local (LDRLs). Os LDRLs indicam se, para determinado procedimento realizado em equipamento e instituição específicos, o valor da dose recebida por um paciente é maior ou menor que o normal para esse procedimento.

A ICRP sugere que, na ausência de DRLs nacionais, os LDRLs possam ser introduzidos para auxiliar no processo de otimização da dose [6]. As vantagens desta abordagem são a relativa facilidade de ser calculada e atualizada de acordo com as necessidades da clínica avaliada. Além disso, a sua determinação é mais flexível do que a dos DRL nacionais. Portanto, é fundamental a criação de metodologias de coleta de grandezas dosimétricas que permitam a determinação dos LDRLs.

No caso de procedimentos de Radiologia Intervencionista, as quantidades de Kerma no Ar ou Produto Kerma-Área (KAP) fornecidas pelo equipamento de raios X são comumente coletadas in situ. Essa metodologia, porém, exige mobilidade e tempo da equipe de físicos médicos da instituição. É portanto necessário criar metodologias inovadoras que permitam a coleta destas informações de forma rápida e em grande escala. Na instituição avaliada, o equipamento angiográfico ArtisZee Ceiling, produzido e fabricado pela empresa Siemens Healthineers, é utilizado em procedimentos hemodinâmicos. Ao final de cada procedimento, o equipamento fornece um relatório em forma de imagem contendo, além de informações sobre o tipo de procedimento no cabeçalho DICOM, técnica utilizada, KAP e Kerma no Ar, o número de exposições em modo cine e o tempo total de exposição. Dessa forma, é de grande interesse clínico a implementação um método semiautomático para coleta dessas informações em larga escala e determinar os LDRLs dos principais procedimentos da instituição com base no relatório fornecido pelo equipamento.

Outro interesse é a estimativa do risco biológico ao qual a população de pacientes está exposta durante estes procedimentos. O PCXMC 2.0 é um software de simulação de Monte Carlo que recebe parâmetros dosimétricos (Kerma do ar ou KAP) como input, e calcula o histórico dos fótons de raios X, além de permitir um alto grau de customização quanto à projeção utilizada, filtragem adicional, distância foco-detector, foco na pele, região irradiada, entre outros [7] e fornece o cálculo da Dose Efetiva (E) de acordo com fatores de ponderação da ICRP 103. Desta forma, uma vez conhecido o valor dosimétrico do procedimento avaliado, pode-se calcular o valor de E para aquele paciente. Assim, o objetivo deste trabalho foi, a partir da coleta de dados utilizando software semiautomático proprietário, determinar os LDRLs para os principais procedimentos hemodinâmicos de um hospital de grande porte, comparar com valores típicos de outras instituições e utilizar os LDRLs como input na simulação PCXMC 2.0 Monte Carlo.

Este trabalho é relevante dada a preocupação com os efeitos estocásticos a que os pacientes são submetidos em procedimentos hemodinâmicos, a falta de trabalhos anteriores que utilizem essa abordagem e o fornecimento de uma metodologia sólida para determinação de LDRLs..

2. Metodologia

Neste estudo, foram coletadas as grandezas Kerma no Ar (K) no ponto de referência do equipamento, Produto Kerma-Área (KAP) no ponto de referência do equipamento, número de exposições em modo de aquisição (N) e tempo de procedimento (T) para todos os exames realizados no equipamento de angiografia Artis Zee Roof no período de janeiro de 2021 a setembro de 2023 em um setor de hemodinâmica de um hospital de grande porte.

Foi desenvolvido um software autoral que utiliza a tecnologia OCR (Optical Character Recognition, ou Reconhecimento Ótico de Caracteres). Este software recebe como entrada o relatório final do procedimento no formato Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) e extrai as informações sobre K, KAP, T e N utilizando a biblioteca Pytesseract [8]. A Figura 1 ilustra um dos relatórios automáticos de dose fornecidos pelo equipamento avaliado.

Exam Protocol									
Patient Info:									
Name:				Sex: M		ID: 1323900			
Patient Position: FFS				06-Oct-23 11:07:23					
1	DBA	VAR TIME Extremidades		9s	2F/s	06-Oct-23	11:23:24		
A	63kV 407mA	86.9ms	0.0CL small 0.3Cu 48cm	196.61pGym*	5.1mGy	28RAO	OCRA	17F	
2	DBA	VAR TIME Extremidades		10s	2F/s	06-Oct-23	11:24:08		
A	63kV 409mA	54.0ms	0.0CL small 0.3Cu 48cm	110.21pGym*	4.5mGy	28RAO	OCRA	20F	
3	DBA	VAR TIME Extremidades		15s	2F/s	06-Oct-23	11:24:44		
A	60kV 429mA	71.9ms	0.0CL small 0.6Cu 48cm	56.31pGym*	2.1mGy	21LAO	OCRA	24F	
4	DBA	VAR TIME Extremidades		17s	2F/s	06-Oct-23	11:25:20		
A	60kV 428mA	54.2ms	0.0CL small 0.6Cu 48cm	42.91pGym*	0.9mGy	21LAO	OCRA	26F	
Accumulated exposure data									
						06-Oct-23 11:26:00			
Performing Physician:									
Total Fluoro: 0.6min					Exposures: 4				
A Fluoro: 0.6min					Total: 421.75pGym*				
					13.0mGy				
					Total: 421.75pGym*				
					13.0mGy				
=====									

Figura 1. Exemplo de relatório fornecido pelo equipamento. Quantidades como kV, Kerma no Ar, KAP, número de exposições, tempo de exposição e data do exame são disponibilizadas em forma de imagem. Fonte: O Autor (2023).

O fluxo de trabalho do software autoral para coleta de dados está ilustrado na figura 2.

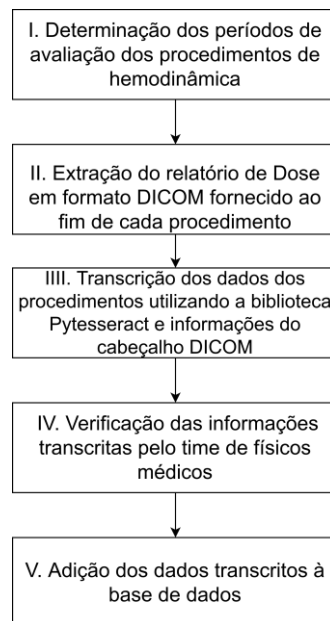


Figura 2. Fluxograma representativo do funcionamento do software de extração dos relatórios fornecidos pelo equipamento Artis Zee Ceiling. I) O primeiro passo é determinar o período de avaliação dos procedimentos. II) Os relatórios fornecidos pelo equipamento são extraídos, adicionados à base de imagens do programa e as informações adicionais são retiradas do cabeçalho DICOM associado ao procedimento. III) A biblioteca Pytesseract, em Python, é utilizada para transcrever os dados no relatório. As informações fornecidas no cabeçalho DICOM, como nome do procedimento ou ID do paciente, foram extraídas. IV) As informações extraídas são revisadas pelos autores. V) Os dados verificados são adicionados ao banco de dados. Fonte: O Autor (2023).

2.1 Critério de inclusão e exclusão

Os procedimentos dos pacientes realizados no mesmo dia e com a mesma identificação no sistema PACS (por exemplo, dois procedimentos de arteriografia de membros inferiores realizados pelo mesmo paciente no mesmo dia) tiveram suas grandezas dosimétricas somadas e foram contabilizados como um único procedimento. Além disso, foram excluídos procedimentos que apresentavam qualquer tipo de corrupção de dados, contabilizando um total de 57 exclusões. Todos os demais procedimentos que não atendem a esses critérios foram revisados pelos autores e incluídos no banco de dados.

2.2 Análise dos dados

Os LDRLs foram definidos como o valor do terceiro quartil (Q) de K, KAP, T e N. Também foram avaliados os valores médio e mediano de cada grandeza.

2.3 Determinação da Dose Efetiva e do Fator de Conversão

Com os LDRL obtidos, utilizou-se o software PCXMC 2.0 para calcular a Dose Efetiva (E) nos pacientes, considerando os fatores de ponderação da ICRP103 disponíveis no software Monte Carlo.

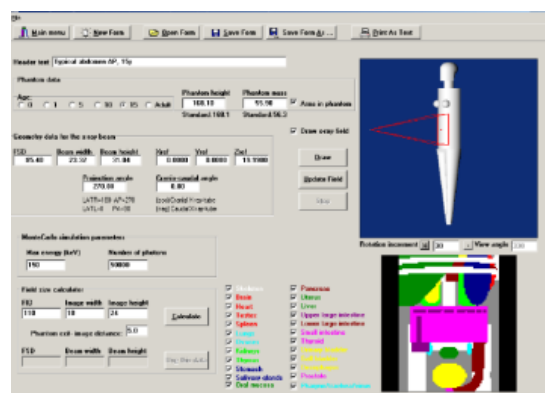


Figura 3. Exemplo de interface do software PCXMC 2.0. Na imagem acima, é simulada uma irradiação ântero-posterior do abdômen. A região colorida indica os órgãos sensíveis utilizados para calcular a Dose Efetiva [7]. Fonte: Guia do usuário PCXMC 2.0.

Para cada procedimento, foram simuladas histórias de um milhão de fótons utilizando projeção pósterio-anterior, distância foco-detector de 110 centímetros, distância foco-pele de 40 centímetros e tensão de pico de 80 kV. O paciente simulado tem 178,2 centímetros de altura, 73,2 quilos e 30 anos. Para cada tipo de procedimento, a razão entre os valores de E e o valor do 3º quartil

de K foi utilizada para calcular o fator de conversão (Cf), conforme descrito pela equação (1):

$$Cf = \frac{E}{K}$$

1

onde E está em mSv, K é medido em mGy e Cf em Sv/Gy.

3. Resultados

Os valores coletados para os quatro procedimentos mais comuns (ou seja, com maior número de procedimentos) foram cateterismo cardíaco em adultos, drenagem biliar, implante de cateter e arteriografia de membros inferiores. A mediana, a média e o valor do terceiro quartil (Q) para esses procedimentos em relação ao K, KAP, T e N são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Mediana, média e terceiro quartil dos valores de K, KAP, T, e N para os procedimentos coletados.

Procedimento	Número de exames	K (mGy)			KAP (μGym²)			T (minutos)			N		
		Média	Mediana	Q	Média	Mediana	Q	Média	Mediana	Q	Média	Mediana	Q
Cateterismo cardíaco adulto	204	628.00	570.00	747.00	5134.81	4514.00	6221.00	4.48	3.00	5.30	8.61	9.00	10.00
Drenagem Biliar	31	407.35	205.00	448.00	3630.10	2502.00	4493.50	5.35	3.40	7.00	3.69	3.00	4.25
Implante de catéter	274	17.97	4.00	9.00	579.31	117.00	273.00	2.68	1.80	2.80	0.84	0.00	0.00
Arteriografia de membros inferiores	616	143.73	86.00	179.25	3277.83	2302.00	4258.25	12.24	9.55	16.68	6.20	6.00	7.00

A distribuição dos valores de Kerma no Ar está descrita na figura 4.

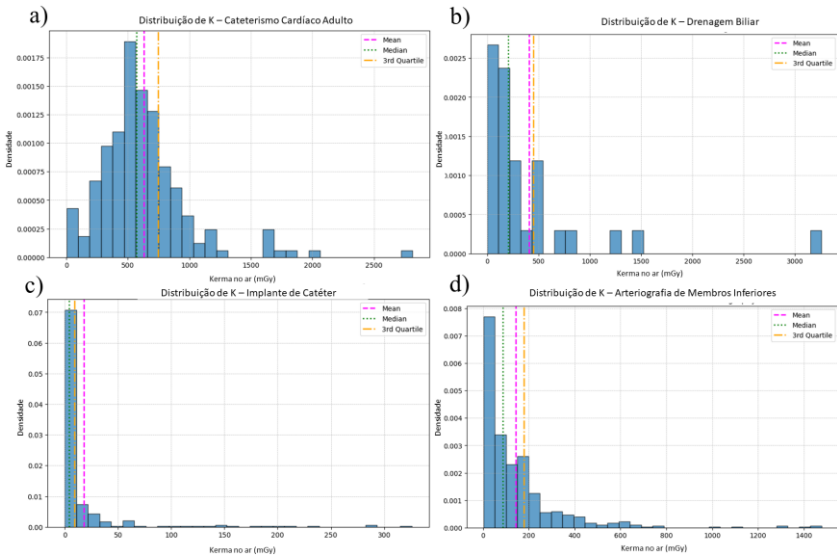


Figura 4. Distribuição dos valores de Kerma no Ar para a) cateterismo cardíaco adulto, b) drenagem biliar, c) implante de catéter, e d) arteriografia de membros inferiores. Fonte: O Autor (2023).

A distribuição dos valores de Produto Kerma-Área está descrita na figura 5.

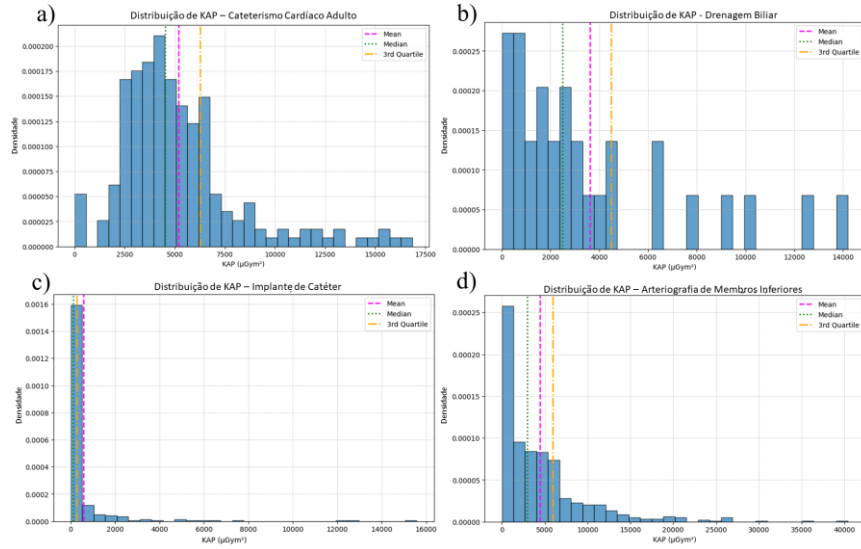


Figura 5. Distribuição dos valores de KAP para a) cateterismo cardíaco adulto, b) drenagem biliar, c) implante de catéter, e d) arteriografia de membros inferiores. Fonte: O Autor (2023).

A distribuição do tempo de procedimento está descrita na figura 6.

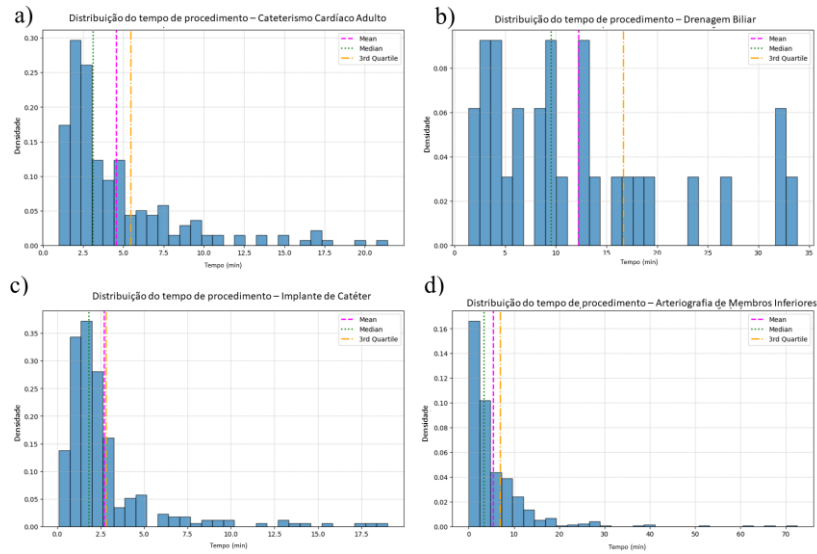


Figura 6. Distribuição dos tempos de procedimento para a) cateterismo cardíaco adulto, b) drenagem biliar, c) implante de catéter, e d) arteriografia de membros inferiores. Fonte: O Autor (2023).

A distribuição do número de exposições por procedimento está descrita na figura 7.

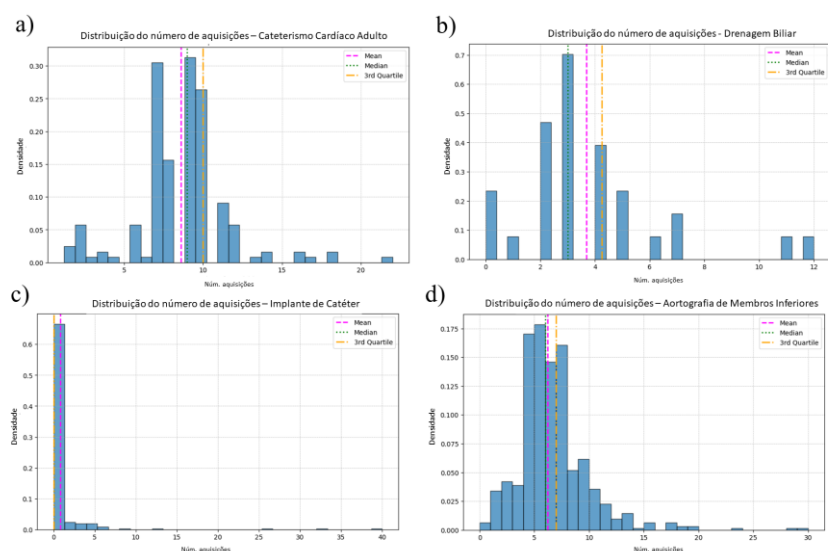


Figura 7. Distribuição do número de exposições para a) cateterismo cardíaco adulto, b) drenagem biliar, c) implante de catéter, e d) arteriografia de membros inferiores. Fonte: O Autor (2023).

Os valores de E e o erro percentual associado, bem como os fatores de conversão calculados a partir da Equação 1, estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Valor do terceiro quartil do KAP apresentado neste estudo e na literatura, juntamente com os valores de E calculados usando os valores descritos com o software PCXMC 2.0. (*nenhuma equivalência deste procedimento foi encontrada nos estudos).

Nome do procedimento	KAP (Gycm ²)			E (fatores ICRP 103) (mSv) utilizando LDRLs como input			Erro percentual associado	Cf (presente estudo) (μSv/mGy)
	Presente estudo	Vañó et al. [4]	Aroua et al. [9]	Presente estudo	Vañó et al.	Aroua et al.		
Cateterismo cardíaco adulto	61	97	80	15.5	24.2	20.0	0.3	20.8
Drenagem Biliar	60	45	240	4.6	4.8	25.5	0.3	10.3
Implante de catéter*	3	-	-	0.1	-	-	-	1.1
Arteriografia de membros inferiores	43	69	210	0.4	0.4	1.2	0.1	2.1

4. Discussão

O software autoral de OCR atendeu à proposta de desenvolvimento, extraindo com precisão as informações das imagens PNG e sendo uma valiosa ferramenta para controle de doses em equipamentos cujo valor não está disponível em cabeçalhos DICOM. A utilização de simulações de Monte Carlo para estimativas de dosimetria em procedimentos de radiologia intervencionista já foi discutida por Aroua et al. [9]. Os autores determinaram através de um estudo com um simulador de polimetilmetacrilato (PMMA) e simulações de Monte Carlo que um fator de conversão simples pode ser usado para estimativas de E através de valores de KAP. A vantagem do método proposto no presente estudo é a coleta semiautomática de dados, sem necessidade de presença in loco, proporcionando agilidade ao corpo clínico.

As grandezas K e KAP foram fornecidas nominalmente pelo equipamento e são calculadas para o ponto de referência (quinze centímetros do isocentro do equipamento, na direção do tubo de raios X). Para as estimativas deste artigo, assume-se que todos os procedimentos utilizaram o mesmo ponto de referência. Além disso, o arco cirúrgico seguiu os testes de Exatidão do indicador KAP e Kerma no ponto de referência previsto pela normativa vigente [10] durante os três anos de avaliação dos exames dos equipamentos, podendo-se garantir que os valores nominais indicados são precisos o suficiente para a determinação de E. É importante mencionar que, na prática clínica, a distância foco-pele e o ângulo de projeção podem mudar, e o kV pode não permanecer constante, pois o Controle Automático de Exposição pode alterar a técnica utilizada. Também é fundamental mencionar que as grandezas usadas para as simulações com o PCXMC 2.0 representam uma média generalizada das técnicas, distâncias, projeções e filtrações mais utilizadas nesses procedimentos. Consequentemente, esses valores podem variar quando se considera a ampla faixa de idades e espessuras dos pacientes, e todos esses fatores geram diferenças no valor calculado de E.

As Figuras 4 a 7 destacam as particularidades de cada tipo de procedimento quanto ao número típico de exposições, tempo de procedimento e distribuição de grandezas dosimétricas. Os maiores valores de E foram obtidos para procedimentos de cateterismo cardíaco adulto, que apresentam o maior valor de KAP. A grande diferença no valor do KAP para os procedimentos avaliados, conforme ilustrado na Figura 5, pode estar associada a diferenças na complexidade do procedimento, na idade ou espessura do paciente e na experiência do operador do equipamento, uma vez que o a instituição avaliada é um hospital universitário com alta rotatividade de profissionais. Arthur et al. [11] concluíram que os procedimentos orientados por cardiologistas seniores expõem menos o paciente quando os mesmos são responsáveis pelas injeções do que os cardiologistas juniores. Tendo em vista a distribuição dos valores na figura 4, é compreensível que os valores de K também apresentem uma ampla gama de valores de acordo com o médico associado ao procedimento, o grau de conhecimento com a tecnologia do equipamento de raios X e o conhecimento dos princípios de otimização de exposições. Assim, os valores estabelecidos neste estudo devem ser interpretados como referências institucionais, podendo servir de guia para outras instituições com setor de radiologia intervencionista e ser um valor de comparação da prática do setor considerando a rotatividade de profissionais, mas devendo ser constantemente atualizados.

Considerando a abordagem direta para o cálculo de E, a utilização dos LDRLs mostrou-se uma opção coerente para a representação das técnicas presentes na prática clínica da instituição avaliada, dada a concordância com os valores estimados por outros estudos. Além disso, os fatores de conversão calculados são consistentes com os valores de KAP e com o número de órgãos radiosensíveis irradiados na simulação, servindo como uma importante ferramenta para estimativas de risco. Olcay et al. [12] mediram uma diferença de aproximadamente quatro vezes nos valores de KAP em procedimentos realizados com imagens no modo cine em comparação com aqueles realizados no “last fluoro hold”, no qual a última imagem obtida no modo fluoroscopia pode ser salva. Esta tecnologia está presente nos equipamentos avaliados neste trabalho, e a redução no número de pulsos é essencial para a otimização das doses sem declínio na qualidade da imagem [13]. O equipamento avaliado também possui controle automático de filtragem, que desempenha um papel importante na redução da radiação espalhada, mas requer uma faixa de tensão de operação maior [14].

Compreender as limitações dos LDRLs é crucial. É importante reconhecer que a metodologia empregada considera apenas um segmento da população regional, e os valores E devem ser vistos como estimativas conservadoras, influenciadas por fatores individuais do paciente, como idade, sexo e Índice de Massa Corporal (IMC). G. Drexler et al. [15] afirmam que usar E como uma medida genérica para estimar a ocorrência de efeitos estocásticos pode resultar em simplificações excessivas e inadequadas dos processos biológicos complexos, destacando que o cálculo de E depende fortemente do contexto específico. Para uma avaliação mais completa, é necessário estimar E considerando as especificidades dos diversos procedimentos e biótipos dos pacientes. Sobre os LDRLs, A ICRP defende fortemente o uso dos mesmos como ferramenta inicial para o monitoramento e otimização de doses em uma determinada instituição [6]. Os autores concordam que apenas a determinação de E a partir dos Níveis de Referência de Diagnóstico não é suficiente, e que os LDRLs devem servir como indicadores para ações e medidas que o time de físicos médicos da instituição deve implementar em relação à proteção radiológica no ambiente hospitalar.

5. Conclusão

Este estudo descreve a utilização de um software autoral para extração das grandezas dosimétricas dos procedimentos mais comuns de um setor de hemodinâmica de um hospital de grande porte. Não é simples determinar o risco de efeitos estocásticos, dadas as diferentes geometrias e complexidades dos procedimentos. Assim, uma alternativa é utilizar os LDRLs como passo inicial para otimizar as doses. Concluímos a robustez da metodologia aplicada com o software semiautomático e o sucesso da ferramenta de monitoramento e otimização das doses da instituição avaliada. A Dose Efetiva calculada usando os valores dos dados coletados é inferior àquela calculada usando valores descritos em estudos anteriores. Os autores estão cientes da necessidade de atualização constante dos dados dos procedimentos, para que os valores de referência da instituição sejam representados de forma consistente. Como etapas futuras, mais procedimentos, prazos mais longos e diferentes modalidades de equipamentos passarão por avaliação semelhante.

Referências

- [1] K.P. Kim, D.L. Miller, A. Berrington de Gonzalez, S. Balter, R.A. Kleinerman, E. Ostroumova, S.L. Simon, M.S. Linet, Occupational radiation doses to operators performing fluoroscopically-guided procedures., *Health Phys.* 103 (2012) 80–99. <https://doi.org/10.1097/HP.0b013e31824dae76>.
- [2] J.K. Friedman, J.W. Newburger, Trends in Congenital Heart Disease, *Circulation.* 133 (2016) 2716–2733. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.116.023544>.
- [3] ICRP, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection., 2007.
- [4] E. Vañó Carruana, J.M. Fernández Soto, R.M. Sánchez Casanueva, J.I. Ten Morón, Niveles de referencia de dosis en radiología intervencionista, *Radiologia.* 55 (2013) 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.rx.2013.08.001>.
- [5] J. Damilakis, J. Vassileva, The growing potential of diagnostic reference levels as a dynamic tool for dose optimization, *Physica Medica.* 84 (2021) 285–287. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2021.03.018>.
- [6] E. Vañó, D.L. Miller, C.J. Martin, M.M. Rehani, K. Kang, M. Rosenstein, P. Ortiz-López, S. Mattsson, R. Padovani, A. Rogers, ICRP Publication 135: Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging, 2017. <https://doi.org/10.1177/0146645317717209>.
- [7] M. Tapiovaara, T. Siiskonen, Edita Prima, PCXMC 2.0 : user’s guide, Radiation and Nuclear Safety Authority. (2008).

- [8] Pytesseract: Python Optical Character Recognition, versão 0.3.10. PyPI. Disponível em: <https://pypi.org/project/pytesseract/>. Acesso em: 30 de novembro de 2023., (n.d.).
- [9] A. Aroua, H. Rickli, J.-C. Stauffer, P. Schnyder, P.R. Trueb, J.-F. Valley, P. Vock, F.R. Verdun, How to set up and apply reference levels in fluoroscopy at a national level, *Eur Radiol.* 17 (2007) 1621–1633. <https://doi.org/10.1007/s00330-006-0463-3>.
- [10] Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Instrução Normativa Nº 91 de 27 de maio de 2021. Dispõe sobre Controle de Qualidade em Equipamentos de Radiologia Intervencionista., (2021).
- [11] W.R. Arthur, J. Dhawan, M.S. Norell, A.J. Hunter, A.L. Clark, Does cardiologist- or radiographer-operated fluoroscopy and image acquisition influence optimization of patient radiation exposure during routine coronary angiography?, *Br J Radiol.* 75 (2002) 748–753. <https://doi.org/10.1259/bjr.75.897.750748>.
- [12] A. Olcay, E. Guler, I.O. Karaca, M.O. Omaygenc, F. Kizilirmak, E. Olgun, E. Yenipinar, H.A. Cakmak, D. Duman, Comparison of fluoro and cine coronary angiography: balancing acceptable outcomes with a reduction in radiation dose., *J Invasive Cardiol.* 27 (2015) 199–202.
- [13] C.T. Pyne, G. Gadey, C. Jeon, T. Piemonte, S. Waxman, F. Resnic, Effect of Reduction of the Pulse Rates of Fluoroscopy and CINE-Acquisition on X-Ray Dose and Angiographic Image Quality During Invasive Cardiovascular Procedures, *Circ Cardiovasc Interv.* 7 (2014) 441–446. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.114.001479>.
- [14] C. Martin, The importance of radiation quality for optimisation in radiology, *Biomed Imaging Interv J.* 3 (2007). <https://doi.org/10.2349/biij.3.2.e38>.
- [15] G. Drexler, W. Panzer, N. Petoussi, M. Zankl, Effective dose ? how effective for patients?, *Radiat Environ Biophys.* 32 (1993) 209–219. <https://doi.org/10.1007/BF01209771>.

REFERÊNCIAS

AROUA, A. et al. How to set up and apply reference levels in fluoroscopy at a national level. **European Radiology**, v. 17, n. 6, p. 1621–1633, 9 maio 2007.

ARTHUR, W. R. et al. Does cardiologist- or radiographer-operated fluoroscopy and image acquisition influence optimization of patient radiation exposure during routine coronary angiography? **The British Journal of Radiology**, v. 75, n. 897, p. 748–753, set. 2002.

DAMILAKIS, J.; VASSILEVA, J. The growing potential of diagnostic reference levels as a dynamic tool for dose optimization. **Physica Medica**, v. 84, p. 285–287, abr. 2021.

DREXLER, G. et al. Effective dose ? how effective for patients? **Radiation and Environmental Biophysics**, v. 32, n. 3, p. 209–219, set. 1993.

ICRP. **The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection**. [s.l: s.n.].

KIM, K. P. et al. Occupational radiation doses to operators performing fluoroscopically-guided procedures. **Health physics**, v. 103, n. 1, p. 80–99, jul. 2012.

MARTIN, C. The importance of radiation quality for optimisation in radiology. **Biomedical Imaging and Intervention Journal**, v. 3, n. 2, abr. 2007.

MINISTÉRIO DA SAÚDE; AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Instrução Normativa Nº 91 de 27 de maio de 2021. Dispõe sobre Controle de Qualidade em Equipamentos de Radiologia Intervencionista.** , 2021.

OLCAY, A. et al. Comparison of fluoro and cine coronary angiography: balancing acceptable outcomes with a reduction in radiation dose. **The Journal of invasive cardiology**, v. 27, n. 4, p. 199–202, abr. 2015.

PYNE, C. T. et al. Effect of Reduction of the Pulse Rates of Fluoroscopy and CINE-Acquisition on X-Ray Dose and Angiographic Image Quality During Invasive Cardiovascular Procedures. **Circulation: Cardiovascular Interventions**, v. 7, n. 4, p. 441–446, ago. 2014.

Pytesseract: Python Optical Character Recognition, versão 0.3.10. PyPI. Disponível em: <https://pypi.org/project/pytesseract/>. Acesso em: 30 de novembro de 2023. , [s.d.].

TAPIOVAARA, M.; SIISKONEN, T.; EDITA PRIMA. **PCXMC 2.0: user's guide. Radiation and Nuclear Safety Authority**, 2008.

TRIEDMAN, J. K.; NEWBURGER, J. W. Trends in Congenital Heart Disease. **Circulation**, v. 133, n. 25, p. 2716–2733, 21 jun. 2016.

VAÑÓ CARRUANA, E. et al. Niveles de referencia de dosis en radiología intervencionista. **Radiología**, v. 55, p. 17–24, dez. 2013.

VAÑÓ, E. et al. **ICRP Publication 135: Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging**. [s.l: s.n.].

DADOS CURRICULARES

IDENTIFICAÇÃO	
	TÚLIO GUILHERME SOARES MARQUES 19/04/1998
Nacionalidade	Brasileira
Nome em citações bibliográficas:	Marques, Tulio Marques, T.
Currículo Lattes	https://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K2742123H8&tokenCaptchar=03AFcWeA5DqaKh5G_8IE6lVNNd-VvZcw5dKNLFobGypsdJ4yvgmZWE4vfiRj32-byLH48nyBc6fVo4UajFvqX7T10iqGw5W2mVwFOeCgczUJGQImHNoHdnxeTFFWrQQFDH_qlwG0GvKRMtGYqw6guZST570kjhH6HLR7RfRmrg3x7uRvZwe-YyPXWo6-o3UrN2PKoGFDgAYHqlwTGA-LG3yrCLUNNPN0UoAdzpe9NHQibjf2dr9Vcgklpo4i9cUWogqeyqhXU4vJclirWz0t0daGHN_cl8f9pc5MsVgLfsc8Z1hHGr_oMod2rdQIDGPGJX3ddFxNwfq32BKXLETS_hNRAdMyVksZX5MJ8HVEdixQ_sqhEdA60DJaEI0ABIQNb4igchG_xTQZmnAWTNnKXWk6R9S9x53n1uI_RES4i-JxLnU3FOnJkk5vJox04MIQ5iVLMRwsAfXASagbdDVmmAMmn5wFbsPvtNsCHgSX8GFBh_-MOsjzXGM_Pcig3CpfaBw6rB10C8ZijzRIYp0PJ7QYfb3gwIUywQozrlj44ul-K1WYHhe3Vmm3Ybp4VujOwUCU7-XySi9j1GUCB3Ec-akHmySFDvu4SEGA
ORCID	0000-0002-6852-2724
outro identificador	-
FORMAÇÃO ACADÊMICA	
2016/2021	Bacharel em Física Médica Universidade Estadual de Campinas
2022/2024	Residência em Física Médica do Radiodiagnóstico Faculdade de Medicina de Botucatu – FMB/UNESP