

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE FÍSICA

SAMARA PAVAN SOUZA

**ESTUDO DOSIMÉTRICO DE PACIENTES EM
PROCEDIMENTOS DE CARDIOLOGIA
INTERVENCIONISTA**

Uberlândia

2018

SAMARA PAVAN SOUZA

**ESTUDO DOSIMÉTRICO DE
PACIENTES EM
PROCEDIMENTOS DE
CARDIOLOGIA
INTERVENCIONISTA.**

Projeto de pesquisa apresentado como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso para o curso de Bacharelado em Física Médica pela Universidade Federal de Uberlândia.

Orientador: Prof. Dr. Lucio Pereira
Neves

Uberlândia

2018

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	5
RESUMO	6
1.INTRODUÇÃO	9
2.OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo geral	10
2.2 Objetivos Específicos	10
3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1.Radiologia Intervencionista	11
3.2.Equipamento de fluoroscopia	13
3.3.Princípios básicos de Proteção Radiológica	14
4.MATERIAIS E MÉTODOS	17
4.1.Simulação de Monte Carlo	17
5.RESULTADOS	22
6.CONCLUSÕES	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Representação esquemática de um equipamento de fluoroscopia, com seus componentes mais relevantes. Figura extraída de [CANEVARO, 2018].....12
- Figura 2: Representação de uma sala de hemodinâmica, onde são realizados procedimentos de cardiologia intervencionista. [CANEVARO, 2009].....16
- Figura 3: Representação da geometria da sala que foi inserida no programa de Monte Carlo com o feixe de raios X na posição PA.....17
- Figura 4: Representação da geometria da sala que foi inserida no programa de Monte Carlo com o feixe de raios X na posição LAO 90°.....18

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Energia média depositada pela radiação por massa obtida para o paciente e o médico com a projeção do feixe Pósterio Anterior (PA)	19
Tabela 2: Energia média depositada pela radiação por massa obtida para o paciente e o médico com o feixe na projeção Oblíqua Anterior Esquerda (LAO90°).....	19
Tabela 3: Valores obtidos de P_{ka} para paciente nas projeções Antero Posterior (PA) e Oblíqua Anterior Esquerda (LAO 90°).....	20
Tabela 4: Valores do Coeficiente de Conversão para o paciente, com o feixe nas duas projeções PA e LAO90°.....	20

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela sua misericórdia, por todas as bênçãos concedidas, por estar comigo em todos os momentos, por ser o meu melhor amigo, meu porto seguro.

Aos meus pais, Aldo e Mirian, e aos meus irmãos, Gustavo, Ricardo e Rodrigo pelos inúmeros esforços que fizeram e fazem por mim, por todas as palavras de conforto, por todos os jejuns e as muitas orações, chegamos até aqui juntos! Ao meu namorado, Lucas, por toda ajuda, pelo companheirismo, por acreditar em mim até quando eu mesma descreditei, a caminhada foi mais leve e mais feliz, graças ao seu cuidado e amor. Amo vocês!

Ao meu orientador Prof. Dr. Lucio Pereira Neves e a sua esposa Profa. Dra. Ana Paula Perini, agradeço por acreditar em mim, por me incentivarem, por todo o auxílio, pelos muitos e valiosos conselhos e pela amizade. Nada acontece por acaso e eu agradeço a Deus por tamanho capricho ao colocar vocês dois no meu caminho! Vocês são uma bênção na minha vida! Que honra ter essa dupla comigo, obrigada por tudo!

Agradeço a todos os professores que me acompanharam durante a graduação, em especial aos professores Marcos Câmara, Edson Agustini, Ana Paula Tremura, Ana Carla e Mariana Odashima, obrigada pela amizade, espero que muitos outros alunos tenham a mesma sorte que eu tive ao conhecê-los.

Aos amigos da turma e companheiros de estudos Nathália, Maria Luíza, Franciellen, Ana Luíza, Rosa, Laura, Lucas, Alaine, Mykaelly, Paulo, Gilberto, Guilherme, Felipe e Otávio. Um agradecimento especial aos amigos Pedro e Thalena, vocês são holofotes de luz na minha vida, obrigada por todos os dias de estudos, pelas muitas conversas que sempre me animaram, pelas risadas fora de hora, por sempre estarem comigo quando precisei, gratidão a Deus por vocês!

RESUMO

A radiologia intervencionista é uma técnica de geração de imagens em tempo real, por meio da interação de raios X com a matéria. A radiologia intervencionista utiliza, entre outros, a técnica de fluoroscopia para realizar procedimentos menos invasivos, tais como inserção de cateter, analisar o funcionamento de órgãos e fluxo sanguíneo. Por se tratar de uma aplicação de radiação ionizante, faz-se necessário o constante monitoramento de doses recebidas pelo paciente, e corpo clínico, durante os procedimentos. Apesar das doses de radiação serem baixas, o tempo em que é realizado o exame influencia diretamente na dose recebida. Neste trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre radiologia intervencionista, e em um procedimento de cardiologia, foram empregadas simulações de Monte Carlo, para avaliar as doses de radiação para o médico e para paciente.

ABSTRACT

Interventional radiology is a real time image generation technique through the interaction of X-rays with matter. Interventional radiology uses, among others, the fluoroscopy technique to perform less invasive procedures, such as catheter insertion, organ function and blood flow analysis. Because it is an application of ionizing radiation, it is necessary to constantly monitor doses received by the patient, and clinical staff, during the procedures. Although the doses of radiation are low, the time of the examination directly influences the dose received. In this work, a bibliographic review on interventional radiology was carried out; in addition, a cardiology procedure was evaluated with Monte Carlo simulation, and the radiation doses were evaluated for both physician and patient.

1. INTRODUÇÃO

A radiologia intervencionista consiste uma técnica onde é possível realizar exames com imagens instantâneas e em movimento [AZEVEDO, 2018a; CANEVARO, 2009a]. É uma prática bastante útil em procedimentos que objetivam estudar o funcionamento de órgãos e estruturas do corpo humano, tais como angioplastia e angiografia coronárias, visualizar a movimentação do trato gastrointestinal, análise de fluxo sanguíneo em arteriografias, embolização (tratamento para aneurisma cerebral) entre outros [CANEVARO, 2018a].

A interação de raios X com a matéria é responsável pela formação das imagens [MARTINS e PAULA, 2011]. Existe o modo convencional de fluoroscopia que é quando o equipamento de raios X funciona com uma corrente contínua, e o modo pulsado em que se pode mudar a quantidade de pulsos por segundo, neste modo é possível reduzir a dose sobre pacientes e médicos, durante os exames, por meio de emissão pulsada de raios X, além de reduzir os efeitos de borrão nas imagens [CANEVARO, 2018b].

As taxas de dose envolvidas nestes exames são baixas [COSTA *et al.*, 2009], porém o tempo de exposição à radiação ionizante, pelos pacientes e profissionais da saúde, faz com que seja necessário o monitoramento de tais doses, e sempre que possível, utilizar métodos para diminuição das mesmas sem prejudicar a qualidade da imagem [LUZ *et al.*, 2007]. Por se tratar de radiação ionizante, existem normas e parâmetros que devem ser seguidos buscando sempre diminuir as doses de radiação [MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1998a].

Este tipo de exame é recomendado somente quando outras técnicas não atendem às necessidades específicas. Entretanto, também cabe ressaltar que este exame é indicado para evitar cirurgias mais complexas.

Uma das áreas de atuação da Radiologia Intervencionista é a cardiologia intervencionista, que utiliza procedimentos menos invasivos para exames diagnósticos e, caso necessário, intervenções relacionadas ao coração [SILVA *et al.*, 2011a]. Alguns exemplos de procedimentos são: cateterismo, angiografia, angioplastia,

cin coronariografia, implante de marca-passo, implante percutâneo de valva aórtica entre outros [JÚNIOR *et al.*, 2011].

Neste trabalho foi utilizada a Simulação de Monte Carlo e o código MCNP5 [PELOWITZ, 2011a], para calcular as doses de radiação recebidas por um paciente e um médico durante os procedimentos em fluoroscopia.

Os procedimentos de radiologia intervencionista são realizados em salas específicas devido ao uso da radiação ionizante durante esses procedimentos [SANTOS *et al.*, 2017]. Para facilitar os cálculos, a sala de hemodinâmica foi composta por uma mesa cirúrgica, tubo de raios X, um paciente e um médico, também foi simulado um biombo de chumbo, que é um equipamento de proteção individual para médicos de radiologia intervencionista (sendo esse o único EPI simulado).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral determinar as doses de radiação sobre os pacientes, bem como a que os médicos estão expostos, durante um procedimento de radiologia intervencionista. Esta avaliação será realizada computacionalmente com o código MCNP5.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica;
- Aprender a Simulação de Monte Carlo;
- Selecionar as exposições sobre em um exame específico de radiologia intervencionista para um estudo mais aprofundado;

- Calcular a energia depositada e os coeficientes de conversão sobre o paciente e o médico durante um procedimento de radiologia intervencionista;
- Avaliar os resultados.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Radiologia Intervencionista

A radiologia intervencionista proporciona imagens em movimento e em tempo real por meio de raios X. Além de realizar exames com maior precisão que outras técnicas, são feitos alguns procedimentos minimamente invasivos, procedimentos em que o paciente tem uma recuperação mais rápida, fica menos tempo internado, entre outros benefícios se comparados à cirurgia convencional [AZEVEDO, 2001b; PAZ e BOLOGNESI, 2017].

Um dos primeiros procedimentos de que se tem conhecimento em cardiologia intervencionista, foi datado de 1840 [GOTTSCHALL, 2009]. Um fisiologista francês, Claude Bernard, fez uma cateterização em um cavalo. Mais tarde, em 1929, Werner Forssmann inseriu um cateter em seu próprio braço e conseguiu chegar ao coração, ficando assim conhecido pelo feito de primeiro cateterismo realizado em humano. Já em 1977 foi realizada a primeira angioplastia, que é o tratamento de obstruções causadas por infarto/gorduras com técnicas mais rudimentares e uso de *stents* não farmacológicos. Recentemente, em 2002, ocorreu o primeiro caso de Implantação de válvula cardíaca percutânea [COSTA *et al.*, 2010].

No Brasil, a primeira angioplastia coronariana aconteceu em Curitiba, por Constatino Constatini e colaboradores, no ano de 1979 [ISSA, 2015]. Depois, foram realizados procedimentos de angioplastia coronariana, no Instituto do Coração (INCOR) em São Paulo por Siguemituzo Arié e colaboradores, e em Porto Alegre por Carlos Gottschall e colaboradores. Durante o XIII Congresso do Departamento de Hemodinâmica da Sociedade Brasileira de Cardiologia, em 1991 no Rio de Janeiro, foi

criada a Central Nacional de Intervenções Cardiovasculares (CENIC), um órgão que começou a registrar os procedimentos intervencionistas do Brasil [ALOAN, 2005].

A radiologia intervencionista pode ser dividida em três áreas principais: neurorradiologia intervencionista, radiologia vascular intervencionista, cardiologia intervencionista [CANEVARO, 2009b; LUNELLI, 2012a].

A neurorradiologia intervencionista é a parte da RI relacionada a diagnósticos e tratamentos na neurologia, os principais procedimentos são: angiografia cerebral, estudo das artérias do cérebro [RAFFIN *et al.*, 2006]; angiografia medular, estudo das artérias da medula; embolização de aneurisma cerebral [SPOTTI *et al.*, 2001].

A radiologia vascular intervencionista é uma das áreas mais complexas da RI, e é responsável por diagnósticos e tratamentos de todas as partes do corpo exceto cérebro e coração, como pulmão, rins, fígado, pâncreas, entre outros [CAVALHEIRO, 2017] e os procedimentos principais são: angiografia vascular periférica, estudo dos vasos de todo o corpo, exceto cérebro e coração; angioplastias periféricas, colocar *stents* no vaso se for verificada obstrução do mesmo [LIMA, 2007]; colangiografia percutânea, que está relacionada aos ductos hepáticos e a parte biliar [GARCIA *et al.*, 1993]; quimioembolização hepática, indicada para pacientes com câncer no fígado [LANGER *et al.*, 2005]; TIPS (*transjugular intrahepatic portosystemic shunt*) procedimento em que com uma inserção de um cateter pela veia jugular interna, propicia a comunicação portocava, evitando assim possível hemorragia [CARREIRO *et al.*, 2001; VECCHI *et al.*, 2014].

A cardiologia intervencionista é a área que diagnostica e trata doenças relacionadas ao coração [NUNES *et al.*, 2016], os procedimentos mais frequentes em cardiologia intervencionista são: cateterismo cardíaco, utilizado para estudo das artérias do coração, verificar alguma obstrução [SOLIMENE e RAMIRES, 2003; SANVITO e SOUZA, 2004]; a angioplastia, que consiste na colocação de um *stent* e dilatação dos vasos [BATISTA *et al.*, 2006]; implante de marca-passo, tanto temporário como permanente [CUNHA *et al.*, 2007; RAMOS *et al.*, 2003]; biópsia endomiocárdica, importante para identificar possíveis alterações histopatológicas [MATTOS, 2003] e o

implante percutâneo de valva aórtica, uma evolução da medicina e também um dos procedimentos mais complexos [LEITE *et al.*, 2008].

3.2. Equipamento de fluoroscopia

O fluoroscópio é equipamento utilizado na hemodinâmica para realizar os procedimentos de cardiologia intervencionista e tem duas funções principais: diagnóstico, nesse caso a necessidade da fluoroscopia é para a verificação de alguma obstrução de vaso sanguíneo, por exemplo, o cateterismo; a segunda finalidade é o tratamento, por exemplo, a angioplastia, que serve para colocar *stents* e fazer a dilatação de um vaso obstruído [CANEVARO, 2018b].

Este aparelho é composto por um gerador de raios X, um tubo de raios X, filtros, colimador, uma mesa para acomodar o paciente; na parte superior é composto por uma grade antidifusora, um intensificador de imagens, acabamento óptico, câmera de vídeo e um monitor [LUNELLI, 2012b]. A Figura 1 ilustra esses componentes básicos.

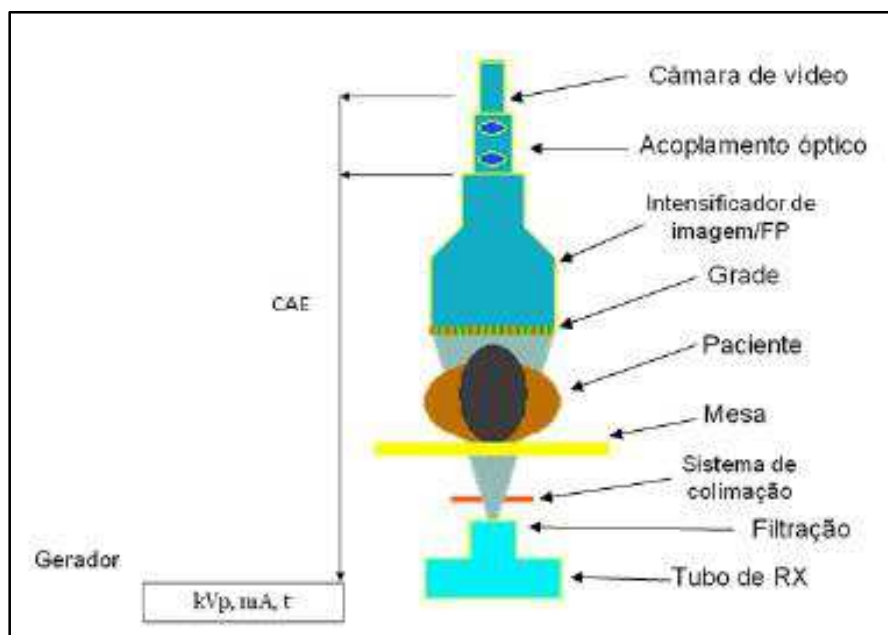


Figura 1: Representação esquemática de um equipamento de fluoroscopia, com seus componentes mais relevantes. Figura extraída de [CANEVARO, 2018].

Os equipamentos comerciais de fluoroscopia funcionam em dois modos: o modo contínuo e o modo pulsado. O modo contínuo é aquele em que as doses de radiação entregues ao paciente são bem maiores. O modo pulsado, ao contrário, as doses de radiação são menores, sendo geradas 7,5, 15 ou 30 imagens por segundo [CANEVARO, 2018c; SILVA e PAES 2018a].

3.3. Princípios básicos de Proteção Radiológica

Os princípios básicos de proteção radiológica são: Justificação, Otimização e Limitação de Doses [MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1998b; SILVA e PAES, 2018b], descritos abaixo:

1. O **princípio da justificação**: justificação das exposições de pacientes e médicos aos procedimentos que envolvem radiação ionizante. Deve ser feita uma avaliação dos riscos e benefícios, de forma individual considerando os riscos e situação de cada paciente;
2. O **princípio de otimização**: princípio ALARA, nele toda dose de radiação recebida por pacientes deve ser “*tão baixa quanto razoavelmente exequível*” [ICRP, 2007];
3. O **princípio da limitação de dose**: estabelece limites de dose anuais para a diminuição dos efeitos teciduais. Esse princípio vale para os profissionais ocupacionalmente expostos e também para indivíduos do público [MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1998c; AZEVEDO, 2001c].

Silva *et al.* (2011b), relataram que 53% dos pacientes apresentaram reações teciduais, devido às altas doses de radiação. O estudo foi realizado com pacientes e médicos de Pernambuco, em procedimentos de intervenção coronária.

Jaschke *et al.* (2017), em seu trabalho reuniu algumas informações importantes sobre lesões cutâneas causadas por radiação ionizante em intervenções guiadas fluoroscopicamente. Neste trabalho, foram apresentadas possíveis ações para minimizar

as doses em pacientes. Também são fornecidas informações de acompanhamento pós-procedimento, para pacientes que recebem altas doses de radiação.

Balter *et al.* (2010), fez uma revisão sobre efeitos da radiação ionizante em pele e cabelo de pacientes submetidos a procedimentos intervencionistas guiados por fluoroscopia, no artigo completo contém imagens e informações de pacientes que tiveram danos severos de queimaduras, queda de cabelo e até necroses devido a radiação.

Leyton *et al.* (2014), discutiu procedimentos de proteção radiológica, em procedimentos de cardiologia intervencionista. Foram relatados os principais riscos desta prática, bem como um panorama das doses recebidas por pacientes e profissionais ocupacionalmente expostos.

Apesar das taxas de doses dos exames e procedimentos serem baixas, o tempo de duração alto faz com que se tornem necessários cuidados extras nesses procedimentos [LINCH *et al.*, 2009]. Um dos órgãos responsáveis pela segurança e proteção radiológica é a ICRP (*International Commission on Radiological Protection*) e entre muitas se destacam duas de suas publicações, que são mais importantes para esse trabalho, publicação 85 [ICRP, 2000] que diz respeito a “*Avoidance of Radiation Injuries from Medical Interventional Procedures*” e a publicação 120 [ICRP, 2013], que trata sobre “*Radiological Protection in Cardiology*”.

Órgãos nacionais como a ANVISA, o Ministério do Trabalho e a Comissão Nacional Energia Nuclear (CNEN), também possuem normas regulamentadoras. A ANVISA, com a Resolução – RDC nº 50 “Dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde.” [ANVISA, 2002], o Ministério da Saúde com a portaria 453 “Regulamento Técnico que estabelece as diretrizes básicas de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico, dispõe sobre o uso dos raios X diagnósticos em todo território nacional e dá outras providências”; e a Norma Regulamentadora (NR) – 32 [MINISTÉRIO DO TRABALHO, 2011] “Segurança e saúde no trabalho em serviços de saúde”; a CNEN-NN 3.01 [CNEN, 2014] “Diretrizes básicas de Proteção Radiológica”.

Em radiologia, as grandezas dosimétricas são muito úteis para estimar as doses de radiação durante os procedimentos, ajudar a melhorar técnicas ou auxiliar no caso de efeitos estocásticos. Uma importante grandeza dosimétrica utilizadas para estimar doses em procedimentos intervencionistas é o Produto Kerma-Área (P_{ka}).

O P_{ka} representa o cálculo da integral sobre uma determinada área (A), da multiplicação do kerma no ar (K_{ar}) e um elemento de área ($dx.dy$) em um plano que seja perpendicular ao eixo do feixe de raios X. Nesta medida não se considerada a radiação retroespalhada pelo paciente [RAMOS e TAUHATA, 2011]. Essa grandeza é bastante utilizada para os efeitos determinísticos. A equação (1) demonstra o P_{ka} :

$$P_{ka} = \int K_{ar}(x,y) dx dy \quad (1)$$

A unidade de medida para o P_{ka} no SI é $Gy.m^2$.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foi utilizado o código de Simulação de Monte Carlo MCNP5 [PELOWITZ, 2011] para efetuar a avaliação dosimétrica, no paciente e no médico durante um procedimento de cardiologia intervencionista, em duas projeções: pósterior anterior (PA) e oblíquo anterior esquerdo em 90° (LAO 90).

4.1. Simulação de Monte Carlo

Utilizando o código MCNP5, foram calculadas as grandezas de Produto Kerma Área (P_{ka}) e energia média depositada pela radiação por massa, para o paciente e o médico, durante procedimento de cardiologia intervencionista, que é realizado em uma sala de hemodinâmica [SAAD *et al.*, 2004].

A grandeza P_{ka} foi avaliada inserindo um detector de radiação de 100 cm², empregando o *tally* F6 (MeV/g/partícula). A energia média depositada pela radiação por massa foi determinada sobre o paciente e o médico utilizando o *tally* F6 (MeV/g/partícula).

Na Figura 2, tem-se um modelo de sala de hemodinâmica, com um equipamento de fluoroscopia (tubo de raios X e tubo intensificador de imagens), mesa de intervenção cirúrgica e monitores.



Figura 2: Representação de uma sala de hemodinâmica, onde são realizados procedimentos de cardiologia intervencionista. Figura reproduzida de [CANEVARO, 2009].

Neste trabalho a geometria de simulação foi uma simplificação de uma sala de Radiologia Intervencionista, contendo: um paciente, um médico, uma mesa cirúrgica, uma fonte pontual de radiação (simulando o tubo de raios X) e um biombo plumbífero, que é um dos equipamentos de proteção individual obrigatório para médicos dessa área. Entretanto, não foram inseridos os óculos plumbíferos e os aventais de chumbo.

As Figuras 3 e 4 representam uma imagem gerada no programa MCNP5 e são referentes às posições PA e LAO 90°. Abaixo, tem-se a composição e formato de cada objeto que foi desenhado na sala, os dados foram retirados da tabela do *Pacific Northwest National Laboratory* [McConn *et al.*, 2011]:

- Para a sala (ambiente de estudos), foi considerada a geometria de uma esfera centrada na origem e com raio de 1.000 cm. Não foram consideradas as paredes, piso ou teto. A sala foi preenchida com ar (próximo ao nível do mar), de

densidade $\rho=0,00125 \text{ g/cm}^3$ e a composição: carbono (0,0124%), nitrogênio (75,5268%), oxigênio (23,1781%) e argônio (1,2827%).

- Para o paciente e o médico, foi considerada a geometria de um paralelepípedo com dimensões: 50,4 cm de base, 29,2 cm de espessura e 190 cm de altura. O elemento utilizado para simular a composição do corpo humano foi o “*Tissue Testis (ICRU)*” cuja densidade é de $\rho=1,04 \text{ g/cm}^3$ e os seus componentes são: hidrogênio (10,6%), carbono (9,9%), nitrogênio (2%), oxigênio (76,6%), sódio (0,2%), fósforo (0,1%), enxofre (0,2%), cloro (0,2%), potássio (0,2%).
- Para a mesa cirúrgica foi considerado a geometria de um paralelepípedo com dimensões: 200 cm de base, 60 cm de largura e 10 cm de altura. O elemento utilizado foi o “*bakelite*” de densidade $\rho=1,25 \text{ g/cm}^3$, composto por: hidrogênio (5,7444%), carbono (77,4589%) e oxigênio (16,7968%).
- Para a base da mesa cirúrgica foi considerado um paralelepípedo de dimensões: 70 cm de base, 60 cm de espessura, 65 cm de altura; preenchido por ferro cuja densidade é $\rho=7,874 \text{ g/cm}^3$ e a composição é ferro (100%).
- Para o avental do médico, foi considerado um paralelepípedo de dimensões: 52 cm de base, 0,05 cm de largura e 99,803 cm de altura. O paralelepípedo foi preenchido com chumbo, cuja densidade é $\rho=11,35 \text{ g/cm}^3$ e sua composição é: chumbo (100%).
- Para a fonte de raios X considerou-se as dimensões: 2 cm de altura, 2 cm de largura e 2 cm de profundidade, sendo a superfície da fonte localizada no eixo $y=0$.

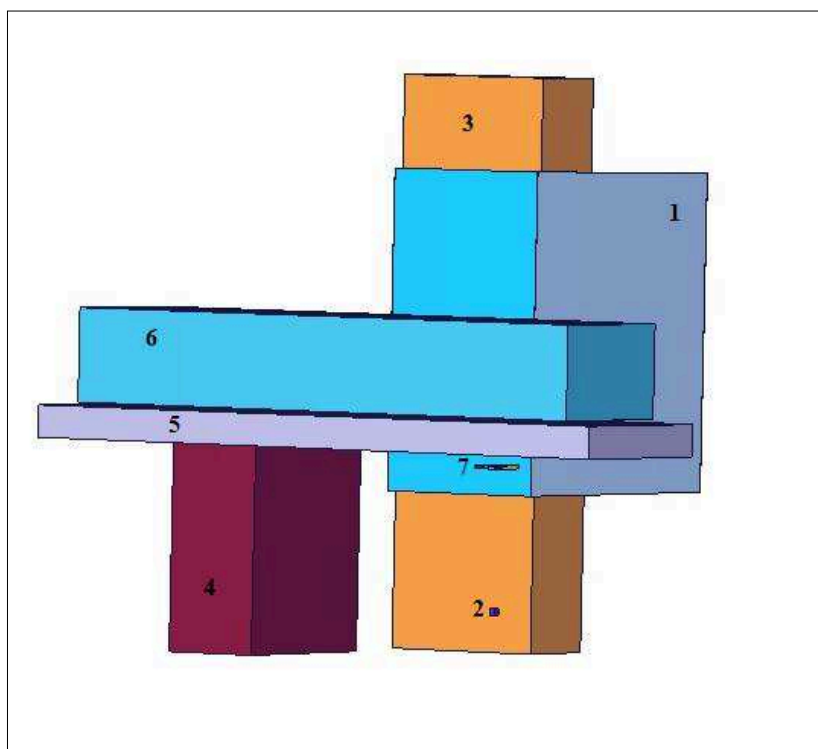


Figura 3: Representação da geometria da sala que foi inserida na simulação de Monte Carlo, com o feixe de raios X na posição PA: (1) avental de chumbo, (2) fonte de raios X, (3) médico, (4) base da mesa, (5) mesa cirúrgica, (6) paciente, (7) medidor de P_{ka} .

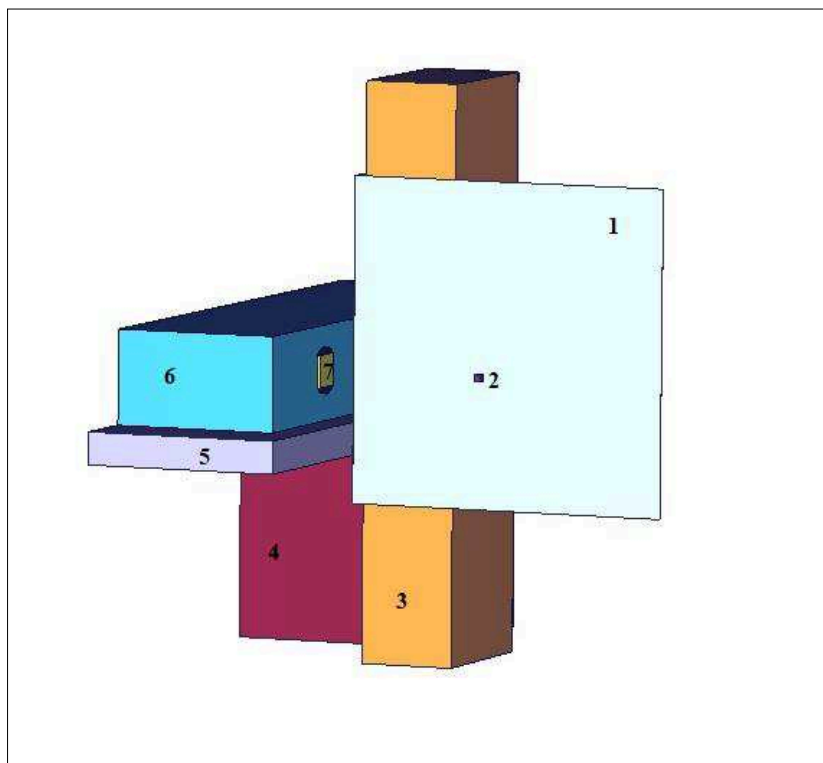


Figura 4: Representação da geometria da sala que foi inserida no programa de Monte Carlo com o feixe de raios X na posição LAO 90°: (1) avental de chumbo, (2) fonte de raios X, (3) médico, (4) base da mesa, (5) mesa cirúrgica, (6) paciente, (7) medidor de P_{ka} .

5. RESULTADOS

Foram calculados os valores de energia média depositada pela radiação por massa, empregando o *tally* F6 (MeV/g/partícula), para o paciente e para o médico. Foi também encontrado o valor de P_{ka} e do Coeficiente de Conversão para o paciente. As medições foram realizadas utilizando uma câmara de ionização preenchida com ar e de dimensões: 10 cm x 10 cm e espessura de 1 cm.

O espectro de energia utilizado para realizar a simulação foi gerado pelo software IPEM SRS 78 [CRANLEY, 1997] cujas especificações são: tensão de 90 kVp, alvo de tungstênio, ângulo anódico de 12°, 3,5 mmAl (filtração inerente). A distância foco pele foi de 50,6 cm e o ângulo da distribuição cônica foi de 6,72°. Foram simuladas um total de 1×10^9 histórias de partículas. As Tabelas 1 e 2 mostram os valores de energia média depositada pela radiação, referentes às duas projeções do feixe (PA e LAO 90°).

Tabela 1: Energia média depositada pela radiação por massa, obtida para o paciente e o médico com a projeção do feixe PA.

Grandeza medida	Projeção PA – Paciente (MeV/g/partícula)	Projeção PA – Médico (MeV/g/partícula)
<i>tally</i> F6 (MeV/g/partícula)	$3,32 \times 10^{-8}$	$2,24 \times 10^{-9}$

Tabela 2: Energia média depositada pela radiação por massa, obtida para o paciente e o médico com o feixe na projeção LAO 90°.

Grandeza medida	Projeção LAO 90° – Paciente (MeV/g/partícula)	Projeção LAO 90° – Médico (MeV/g/partícula)
<i>tally</i> F6 (MeV/g/partícula)	$1,10 \times 10^{-7}$	$1,88 \times 10^{-10}$

Analisando os resultados obtidos na Tabela 1, verifica-se que o valor obtido de energia média depositada pela radiação por massa para paciente e médico quando o feixe de raios X estava na projeção PA, foi de $3,32 \times 10^{-8}$ MeV/g/partícula (paciente) e $2,24 \times 10^{-9}$ MeV/g/partícula (médico).

Com os valores que estão representados na Tabela 2, foi possível verificar que os valores de energia média depositada pela radiação por massa foram $1,1 \times 10^{-7}$ MeV/g/partícula e $1,88 \times 10^{-10}$ MeV/g/partícula para médico e paciente, respectivamente.

Comparando a Tabela 1 com a Tabela 2, pode-se observar que os resultados referentes à energia média depositada pela radiação por massa para o paciente, foram maiores que para o médico, tanto para a projeção PA quanto para a projeção LAO90°.

Os valores de P_{ka} encontrados para o paciente, nas duas projeções de feixe são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3: Valores obtidos de P_{ka} para paciente nas projeções PA e LAO 90°.

Grandeza medida	Projeção PA (MeV/g/partícula)	Projeção LAO 90° (MeV/g/partícula)
P_{ka}	$3,04 \times 10^{-5}$	$2,28 \times 10^{-5}$

Pode-se observar que o valor de P_{ka} foi maior quando o feixe estava na posição PA.

A partir dos valores de energia média depositada pela radiação por massa e P_{ka} , foi possível calcular o Coeficiente de Conversão (CC) pela equação (2). Os valores de CC encontrados estão na Tabela 4.

$$CC = \frac{DoseAbsorvida}{P_{ka}/Área} \text{ [Gy/Gy.cm}^2\text{]} \quad (2)$$

Tabela 4: Valores de CC para o paciente, com o feixe nas duas projeções PA e LAO 90°.

Grandeza medida	Projeção PA (Gy/Gy.cm²)	Projeção LAO 90°(Gy/Gy.cm²)
Coeficiente de Conversão	1,09x10 ⁻³	4,83x10 ⁻³

Observa-se que o valor de CC foi de 1,09x10⁻³Gy/Gy.cm² para o feixe na posição PA, e de 4,83x10⁻³Gy/Gy.cm² para a posição LAO 90°.

6. CONCLUSÕES

Os cálculos foram feitos com base numa geometria simples de uma sala de hemodinâmica, levando em conta procedimentos realizados em cardiologia intervencionista. Para a dose absorvida, em ambas as projeções do feixe, o valor foi maior para o paciente do que para o médico, isso indica concordância com a literatura, o médico recebeu valores menores de radiação devido ao biombo de chumbo (EPI) de uso obrigatório, que atenuou parte da radiação, evidenciando a eficácia do uso do mesmo [MOURA e NETO, 2015; PARIZOTI, 2008]. Comparando as duas projeções (PA e LAO90°) para o médico, pode-se perceber que o menor valor de energia média depositada por massa foi com o feixe na projeção LAO 90°, aproximadamente 10% menor, o que não corresponde aos dados da literatura. Geralmente na prática clínica o equipamento de raios X possui uma cortina de chumbo. O tubo embaixo da mesa é uma recomendação dos órgãos responsáveis em proteção radiológica. Nesse caso, é importante chamar atenção de desconsideração da cortina. Para o paciente, quando o feixe estava na posição PA, foi observado quase 30% menor no valor de dose absorvida.

O valor do P_{ka} para o paciente foi maior na projeção PA, conseqüentemente, o valor de CC foi menor para essa projeção (cerca de 20%). Esse resultado é coerente com a literatura, tendo em vista que na projeção LAO90°, o feixe de raios X atinge diretamente o paciente e médico, já na projeção PA, o feixe de raios X passa primeiro pela mesa, para depois atingir o médico e o paciente, nesse caso a mesa atenua uma parcela da radiação [SANTOS *et al.*, 2017b; CAVALCANTE, 2017].

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALOAN, L. Considerações Históricas sobre a Cardiologia no Estado do Rio de Janeiro. **Revista da SOCERJ**, v.18, n. 4, p. 278-282, 2005.
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução – RDC nº 50: **Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde**. Brasília, 2002.
- AZEVEDO, A. C. P. Radioproteção em serviços de saúde. Disponível em: <<http://www.fiocruz.br/biossegurancahospitalar/dados/material10.pdf>>. Acesso em: 26 de maio de 2018.
- BALTER, S.; HOPEWELL, J. W.; WAGNER, L. K.; ZELESFSKY, M. J. Fluoroscopically Guided Interventional Procedures: A Review of Radiation Effects on Patients' Skin and Hair. **Radiology**, v.254, n.2, p.326-341, 2010.
- BATISTA, M. A.; SANTOS, M. A.; PIVATELLI, F. C.; LIMA, A. R. C; GODOY, M. F. Eventos adversos e motivos de descarte relacionados ao reuso de produtos médicos hospitalares em angioplastia coronária. **Brazilian Journal of Surgery**, v.21, n.3, p. 328-333, 2006.
- CANEVARO, L. Aspectos físicos e técnicos da Radiologia Intervencionista. **Revista Brasileira de Física Médica**. v. 3, n.1, p. 101-115, 2009.
- CANEVARO, L. Radiologia intervencionista. Disponível em: <http://rle.dainf.ct.utfpr.edu.br/hipermidia/images/documentos/Radiologia_intervencionista.pdf>. Acesso em: 12 de maio de 2018.
- CARREIRO, G.; MOREIRA, A. L.; MURAD, F. F.; AZEVEDO, F.; COELHO, H. S. M. TIPS – Anastomose Portossistêmica intra-hepática transjugular: Revisão. **Arquivos de Gastroenterologia**, v.38, n.1, p.69-80, 2001.
- CAVALCANTE, F. R. **Simulação de Monte Carlo de cenários de radiologia intervencionista pediátrica no código MCNPX**. 2017. 120 f. Tese (Obtenção do título de Doutor em Física) – Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2017.
- CAVALHEIRO, T. L. **Avaliação do produto kerma ano ar pela área em pacientes pediátricos submetidos à uretrocistografia miccional**. 2017. 38 f. Dissertação

- (Trabalho de Conclusão de Curso em Tecnologia em Radiologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Paraná, Curitiba. 2017.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Norma CNEN NN 3.01: Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Rio de Janeiro. 2014.
- COSTA, L. G. F.; GUIDO, L. A.; FANTIN, S. S. Enfermeiros de unidades de hemodinâmica do Rio Grande do Sul: perfil e satisfação profissional. **Rede de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal**, v.19, n.3, p.488-495, 2010.
- COSTA, M. M. B.; NOVA, J. L. L.; CANEVARO, L.V. Efeitos da filtração adicional nas doses de radiação e na qualidade das imagens nos exames videofluoroscópicos. **Radiologia Brasileira**, v.42, n.6, p.379-387, 2009.
- CRANLEY, K.; GILMORE, B.J.; FOGARTY, G.W.A; DESPONDS, L. **Catalogue of diagnostic x-ray spectra and other data**. Institute of Physics and Engineering in Medicine Report 78, York: IPEM, 1997.
- CUNHA, T. M. B.; COTAR, M. A.; SOUZA, B. K.; OLIVEIRA, B. G.; RIBEIRO, A.L. P.; SOUSA, L. A. P. Correlação entre classe funcional e qualidade de vida de usuários de marcapasso cardíaco. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v.11, n.5, p.342-345, 2007.
- GARCIA, J. P.; SOUSA, J. T.; SILVA, E.; SOARES, E.; PEDROSO, C.; CID, M. O. Ecografia pré-operatória em cirurgia das vias biliares: Estudo comparativo Ecografia/Colangiografia pré-operatória na detecção de cálculos na via biliar principal. **Acta Médica Portuguesa**, v.6, p.123-128, 1993.
- GOTTSCHALL, A. M. C. 1929-2009: 80 Anos de Cateterismo Cardíaco – uma História Dentro da História. **Revista Brasileira de Cardiologia Invasiva**, v.17, n.2, p.246-268, 2009.
- ISSA, A. F. C. et al. **MAC: Manual de Atualização e Conduta: Síndrome Coronariana Aguda (SCA)**. São Paulo: Planmark, 2015. 64 p.
- ICRP 85. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Publicação nº 85 – **Avoidance of Radiation Injuries from Medical Interventional Procedures**, 2000.

ICRP 103. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Publicação nº 103 – **The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection**, 2007.

ICRP 120. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Publicação nº 120 - **Radiological Protection in Cardiology**, 2013.

JASCHKE, W.; SCHMUTH, M.; TRIANNI, A.; BARTAL, G. Radiation-Induced Skin Injuries to Patients: What the Interventional Radiologist Needs to Know. **Cardiovasc Intervent Radiol**, v.40, n.1, p.1131-1140, 2017.

JÚNIOR, F. S. B.; NETO, P. A. L.; LEITE, R. S.; MANGIONE, J. A.; CARVALHO, L. A.; ABIZAID, A.; NERCOLINI, D. C.; PERIN, M. A.; QUEIROGA, M.; BARBOSA, M. R.; GRUBE, E.; SOUSA, E. Consenso de Especialistas sobre o Implante por Cateter de Biopróteses Valvares para o Tratamento da Estenose Aórtica de Alto Risco Cirúrgico: Relato da Sociedade Brasileira de Hemodinâmica e Cardiologia Intervencionista. **Revista Brasileira de Cardiologia Invasiva**, v.19, n.2, p. 200-207, 2011.

LANGER, L. F.; GONZALEZ, A. M.; AMORIM, J. E.; AJZEN, S. A. Contribuição da quimioembolização de hepatocarcinomas em pacientes cirróticos na espera pelo transplante hepático. **Radiologia Brasileira**, v.38, n.1, p. 1-6, 2005.

LEITE, R. S.; QUADROS, A. S.; PRATES, P. R. L.; ZANATTA, L. G.; FILHO, P. A. S.; GRANDO, T.; SILVA, R. G.; PRATES, P. R.; NESRALLA, I. A.; GOTTSCHALL, C. A. M. Implante Valvular Aórtico Percutâneo: Experiência Inicial do Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Cardiologia Invasiva**, v.16, n.4, p. 398-405, 2008.

LEYTON, F.; CANEVARO, L.; DOURADO, A.; CASTELLO, H.; BACELAR, A.; NAVARRO, M. T.; VAÑO, E.; NOGUEIRA, M. S.; BORGES, F.; RODRIGUES, B. Riscos da Radiação X e a Importância da Proteção Radiológica na Cardiologia Intervencionista: Uma Revisão Sistemática. **Revista Brasileira de Cardiologia Invasiva**, v.22, n.1, p. 1-11, 2014.

- LIMA, V. C. Cateterismo Cardíaco, Diagnóstico (Angiografia) e Terapêutico (Angioplastia) na Doença Arterial Coronária dos Pacientes Diabéticos. **Arquivo Brasileiro de Endocrinologia & Metabologia**, v. 51, n.2, p. 299-304, 2007.
- LINCH, G. F. C.; GUIDO, L. A.; PITTHAN, L. O.; UMANN, J. Unidades de hemodinâmica: a produção do conhecimento. **Revista Gaúcha de Enfermagem**, v.30, n.4, p.742-749, 2009.
- LUNELLI, A. N. **Estimativa da Dose no Paciente e na Equipe Médica em Procedimentos Intervencionistas de Neurorradiologia**. 2012. 141 f. Tese (Obtenção do título de Doutor em Ciências Nucleares. Área de concentração: Dosimetria e Instrumentação Nuclear.) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, Pernambuco, 2012.
- LUZ, E. S.; CANEVARO, L. V.; FERREIRA, N. M. P. D.; CAMPOS, J. E. A importância do controle e qualidade em serviços de hemodinâmica e cardiologia intervencionista. **Radiologia Brasileira**. v.40, n.1, p. 27-32, 2007.
- MARTINS, C.; PAULA, V. Doses de exposição à radiação em pacientes submetidos a exames de fluoroscopia. **DisciplinariumScientia**. v.12, n.1, p.77-88, 2011.
- MATTOS, B. P. Mecanismos patogênicos, função ventricular e biópsia endomiocárdica na miocardiopatia dilatada. **Revista HCPA**, v. 25, n.3, p.60-64, 2003.
- McConn, Jr, R. J.; GESH, C. J.; PAGH, R. T.; RUCKER WILLIAN, R. G. Compendium of Material Composition Data for Radiation Transport Modeling. Pacific Northwest National Laboratory, p.375, 2011.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria Federal 453: DIRETRIZES DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA EM RADIODIAGNÓSTICO MÉDICO E ODONTOLÓGICO. Brasília. 1998.
- MINISTÉRIO DO TRABALHO. NR 32 - SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO EM SERVIÇOS DE SAÚDE. Brasília. 2011.
- MOURA, R.; NETO, F. A. B. Proteção radiológica aplicada à radiologia intervencionista. **Jornal Vascular Brasileiro**, v. 14, n. 3, p. 197-19, 2015.
- NUNES, R.; PEREIRA, D. D.; CANEVARO, L. V.; RODRIGUES B. B. D.; FERREIRA, E. Uso de dosímetros ativos como ferramenta de otimização em

- Hemodinâmica. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 10, n. 1, p. 31-34, 2016.
- PARIZOTI, A. **Otimização de Imagens e Proteção Radiológica em Fluoroscopia**. 2008. 86 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ciências) – Universidade Estadual de São Paulo, Ribeirão Preto. 2008.
- PELOWITZ, D. B. MCNPX User's Manual, Version 2.7.0, Report LA-CP-11-00438. Los Alamos National Laboratory, 2011.
- PAZ, A., BOLOGNESI, L. Radioproteção aplicada ao serviço de hemodinâmica. **Tekne e Logos**, v. 8, n. 1, p. 68 – 82, 2017.
- RAFFIN, C. N.; FERNANDES, J. G.; EVARISTO, E. F.; NETO, J. I. S.; FRIEDRICH, M.; PUGLIA, P.; SOCIEDADE BRASILEIRA DE DOENÇAS CEREBROVASCULARES. Revascularização clínica e intervencionista no acidente vascular cerebral isquêmico agudo. **Arquivos de Neuropsiquiatria**, v.64, n.2, p.342-348, 2006.
- RAMOS, G.; FILHO, J. R.; JÚNIOR, A. R.; PEREIRA, E.; NETO, S. G.; CHAVES, E. Marcapasso Cardíaco Artificial: Considerações Pré e Per - Operatórias. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, v.53, n.6, p. 854-862, 2003.
- RAMOS, M. M. O; TAUHATA, L. **Grandezas e Unidades para Radiação Ionizante: Recomendações e definições**. Rio de Janeiro, 2011.
- SAAD, J. A.; GARCIA, J. C. F.; GUIMARÃES, J. I. Diretriz para Realização de Exames Diagnósticos e Terapêuticos em Hemodinâmica. **Arquivo Brasileiro de Radiologia**, v.82, n.1, p.1-6, 2004.
- SANTOS, W. S. **Avaliação das doses ocupacionais e médicas e do risco de câncer em procedimentos cardíacos de Radiologia Intervencionista utilizando Método de Monte Carlo**. 2014. 144 f. Tese (Obtenção do título de Doutor em Física) – Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2014.
- SANTOS, W. S.; NEVES, L. P.; PERINI, A. P.; BELINATO, W.; MAIA, A.F.; CALDAS, L. V. E. Avaliação das exposições dos envolvidos em procedimentos intervencionistas usando o método de Monte Carlo. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 5, n.1, 2017.

- SANVITTO, P. C.; SOUZA, G. G. Avaliação da doença carotídea extracraniana: modalidades não invasivas de imagem e métodos angiográficos atuais. **Revista da Sociedade de Cardiologia do rio Grande do Sul**, v. 13, n. 2, p. 1 a 5, 2004.
- SILVA, A. A. R.; PAES, W. S. Proteção Radiológica. Disponível em: <http://rle.dainf.ct.utfpr.edu.br/hipermidia/images//documentos/Protecao_radiologica.pdf>. Acesso em: 10 de maio de 2018.
- SILVA, M. S. R.; KHOURY, H. J.; BORRÁS, C.; OLIVEIRA, A. F.; VIANNA, H. F. P.; OLIVEIRA, F. R. A.; JAPYASSÚ, F. A. A.; MOTA, F. B. Dosimetria de pacientes e médicos em intervenções coronárias percutâneas em Recife, Pernambuco, Brasil. **Radiologia Brasileira**, v.44, n.2, p.90-96, 2011.
- SILVA, P. L.; MAURÍCIO, C. L. P.; CANEVARO, L. V.; OLIVEIRA, P. S. Avaliação da exposição dos médicos à radiação em procedimentos hemodinâmicos intervencionistas. **Radiologia Brasileira**. v.41, n.5. p. 319-323, 2008.
- SOLIMENE, M. C.; RAMIRES, J. A. F. Indicações de cinecoronariografia na doença arterial coronariana. **Revista da Associação Médica Brasileira**, v.49, n.2, p. 203-209, 2003.
- SPOTTI, A. R.; LIMA E. G.; SANTOS M. L. T.; MAGALHÃES A. C. A. Angiografia pela ressonância magnética nos aneurismas intracranianos: Estudo comparativo com a angiografia cerebral. **Arquivo Neuropsiquiátrico**, v.59, p.384-389, 2001.
- TAUHATA, L.; SALATI, I. P.; DI PRINZIO, R., DI PRINZIO, A. R. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. Rio de Janeiro: Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2003.
- VECCHI, I. C.; BITENCOURT, G. C. T.; COSTA, G. O.; ANDRADE, J. P. S.; VELOSO, R. C; GONTIJO, R. V. Hipertensão portal uma revisão de literatura. **BrazilianJournalofSurgeryandClinicalResearch**, v.7, n.1, p.45-49, 2014.
- YORIYAZ, H. Método de Monte Carlo: princípios e aplicações em Física Médica. **Revista Brasileira de Física Médica**. v.3, n.1, p. 141-149, 2009.
- YOSHIMURA, E. M. Física das Radiações: Interação da radiação com a matéria. **Revista Brasileira de Física Médica**, v.3, n.1, p.57-67, 2009.