

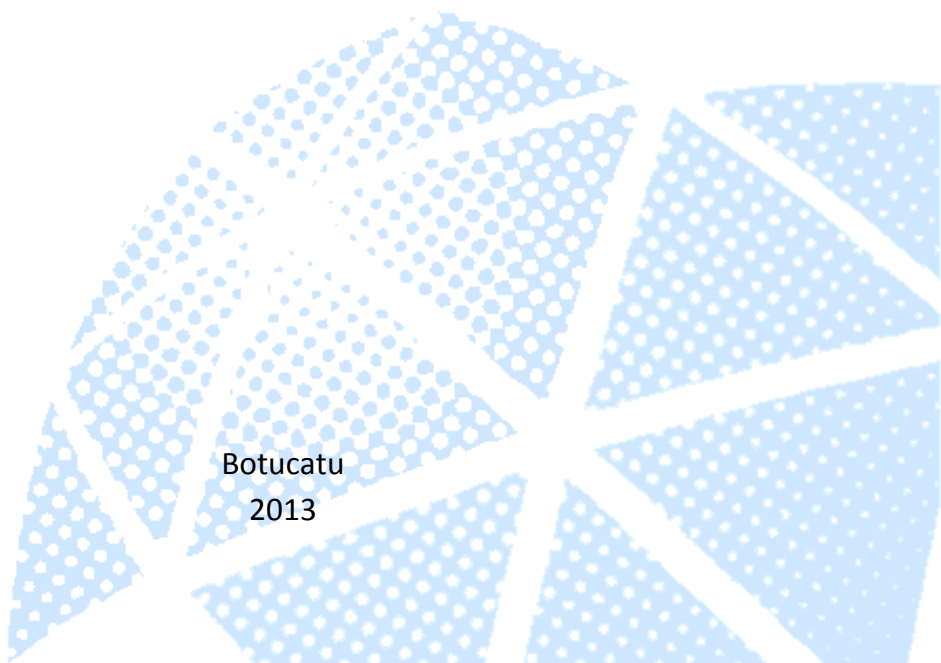


UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Isabela Soares Lopes Branco

AVALIAÇÃO DA TAXA DE EXPOSIÇÃO EM EXAMES RADIOLÓGICOS REALIZADOS
EM PROCEDIMENTOS CIRÚRGICOS – MINIMIZAÇÃO DOS RISCOS EM
INDIVÍDUOS OCUPACIONALMENTE EXPOSTOS

Botucatu
2013





UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Isabela Soares Lopes Branco

AVALIAÇÃO DA TAXA DE EXPOSIÇÃO EM EXAMES RADIOLÓGICOS REALIZADOS
EM PROCEDIMENTOS CIRÚRGICOS – MINIMIZAÇÃO DOS RISCOS EM
INDIVÍDUOS OCUPACIONALMENTE EXPOSTOS

Orientador: **Prof. Dr. Marco Antônio Rodrigues Fernandes**

Monografia apresentada ao Instituto de Biociências
da Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, Campus de Botucatu, para
obtenção do título de Bacharel em Física Médica.

Botucatu
2013

DEDICATÓRIA

A toda a minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda a minha família, especificamente aos meus pais, Hélio Lopes Branco e Solange Regina Soares Branco, e a minha irmã Thaís Soares Lopes Branco por todo o carinho, amparo, amizade, ensinamentos e por sempre estarem presentes, ainda que à distância.

Ao Prof. Dr. Marco Antonio Rodrigues Fernandes, primeiro orientador, incentivador na área acadêmica e responsável pela oportunidade de iniciação em pesquisa.

A todos os professores que contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal, desde o ensino fundamental até o ensino superior.

Ao Rodrigo de Miranda Fernandes pelo auxílio e aprendizado de conceitos práticos da rotina de profissional em física médica durante estágio na empresa Nucleata Radiometria Ltda.

Ao Lucas Verdi Angelocci por todo apoio e cumplicidade.

Aos amigos de inesquecível convivência que levo do Colégio Salesiano de Araçatuba, entre eles: Rafaela Ribeiro Evangelista, Luan Pier Benetti, José Rodrigo Ribeiro Martines, Felipe Augusto Amantéa de Campos e Maurício Buosi Lemes.

À Rodrigo Teixeira de Abreu, Guilherme Eiji Matsuno, Humberto Antônio Soares Morelli, Deivid William Pires e Mariane Cristina de Souza Melo, grandes amigos da VII Turma de Física Médica, os quais deixaram marcados os últimos quatro anos.

Muito Obrigada.

**Tudo é loucura ou sonho no
começo. Nada do que o homem
fez no mundo teve início de outra
maneira, mas tantos sonhos se
realizaram que não temos o direito
de duvidar de nenhum”**

Monteiro Lobato

RESUMO

BRANCO, I. S. L. **Avaliação da Taxa de Exposição em Exames Radiológicos Realizados em Procedimentos Cirúrgicos – Minimização dos Riscos em Indivíduos Ocupacionalmente Expostos**. 2013. 58f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

O trabalho consistiu na avaliação da taxa de exposição à radiação ionizante à qual são submetidos os profissionais que atuam nos procedimentos cirúrgicos, e que necessitam da realização de exames radiológicos. Inicialmente foram realizadas leituras em tempo real da taxa de exposição no interior de quatro salas de cirurgia distintas, durante a execução de quatro procedimentos cirúrgicos que fizeram uso de equipamento de fluoroscopia (sendo três cirurgias ortopédicas, uma na região do ombro, uma no braço, outra para implantação de pino metálico na região da perna, e uma quarta para procedimento vascular), nestas cirurgias, foram utilizados um detector do tipo câmara de ionização e um eletrômetro.

De modo a aferir os valores obtidos, foi realizada novamente a avaliação da distribuição da taxa de exposição à radiação, provenientes dos procedimentos cirúrgicos, agora utilizando dosímetros termoluminescentes (TLD's). Para isto, foram distribuídos trinta TLD's nas salas de cirurgia, dispostos em pontos de interesse conforme ocupação pelos profissionais do Setor. Os TLD's ficaram dispostos por trinta dias consecutivos, após o que eram retirados e substituídos por novos dosímetros ainda não expostos. Os dosímetros foram submetidos à leitura da taxa de exposição, esse procedimento se repetiu por quatro meses ininterruptamente.

A quantificação dos resultados requereu primeiramente a conversão dos valores de taxa de exposição para taxa de dose equivalente, tanto nas medições utilizando câmara de ionização quanto nas medições com os TLD's, a fim de evidenciar a presença do efeito biológico da radiação ionizante para comparações no âmbito científico. Em seguida, os resultados compuseram gráficos onde estabeleceu-se a relação entre os valores obtidos de dose equivalente e a distância das medidas com relação ao eixo central da fonte de raios-x, confirmando dados regidos pela lei do inverso do quadrado da distância. Por fim, os valores foram associados com limite máximo permissível preconizado pela legislação, para indivíduos ocupacionalmente expostos.

A metodologia de análise e quantificação dos dados neste trabalho visa a implantação de um plano de atividades que atenda à rotina dos profissionais maximizando a qualidade das imagens radiológicas e minimizando os riscos à saúde do trabalhador ocupacionalmente exposto, além de otimizar os procedimentos e devido a isto, agilizar as atividades de toda a equipe envolvida nas práticas do diagnóstico por imagem.

Palavras-chave: exposição ocupacional, proteção radiológica, radiometria

ABSTRACT

BRANCO, I. S. L. **Assessment Exposure Rate in Radiological Examinations done in Surgical Procedures - Minimizing Risk in Occupationally Exposed Individuals.** 2013. 58p. Course Conclusion Paper (Graduation) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

This paper consists in the evaluation of the exposure rate to ionizing radiation to which professionals working in surgical procedures which require radiological examinations are subjected. Were initially performed real-time readings of exposure rate within four distinct operating rooms during the execution of four surgical procedures that made use of fluoroscopy equipment (including three orthopedic surgeries, one in the shoulder, one in the arm, another for deployment of metal pin in the leg region, and a fourth for vascular procedure); in these surgeries were used ionization chamber detector and an electrometer.

In order to check the values achieved, was made a re-evaluation of the distribution of the rate of exposure to radiation, from the surgical procedures, now with thermoluminescent dosimeters (TLDs). For this, thirty TLDs were distributed in the operating rooms, arranged in points of interest as occupation by professionals. The TLDs were prepared for thirty consecutive days, after which they were removed and replaced with new dosimeters not exposed yet. The dosimeters were subjected to reading of the rate of exposure; this procedure was repeated for four months without interruption.

The quantification of the results sought primarily to convert the rate of exposure for equivalent dose rate, both in measurements with ionization chamber as in measurements with TLDs, in order to highlight the presence of the biological effect of ionizing radiation for comparisons within scientific context. Then, the results were plotted to establish the relationship between the values of equivalent dose and the distance to the central axis of the x-ray source, confirming the inverse square law for distance. Finally, the values were associated with the maximum limit recommended by the legislation for occupationally exposed individuals.

The methodology for the analysis and quantification of the data in this work aims at implementing a work plan that meets the routine of professionals maximizing the quality of radiological images and minimizing the health risks of occupationally

exposed individuals, while optimizing the procedures and, due to this, streamlining the activities of all the staff involved in the practice of diagnostic imaging.

Keywords: occupational exposure, radiation protection, radiometry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Radiografia histórica da mão de Anna Bertha.....	5
Figura 2. Tubo de raios-X.....	7
Figura 3. Espectro da Radiação X.	8
Figura 4. Representação das regiões de predominância dos três principais efeitos de interação da radiação com a matéria.	9
Figura 5. Efeito fotoelétrico.....	9
Figura 6. Efeito Compton.	10
Figura 7. Produção de Pares.	10
Figura 8. Esquema demonstrando a variação da intensidade com o inverso do quadrado da distância.	11
Figura 9. Câmaras de ionização com componentes (ânodo e cátodo) distintos.....	15
Figura 10. Esquematização do processo de termoluminescência nas etapas de (a) irradiação e (b) aquecimento do cristal.	16
Figura 11. Câmara de ionização utilizada para realização das medidas em tempo real.	20
Figura 12. Exemplo de TLD utilizado para medições integradas.....	20
Figura 13. Gráfico relacionando as distâncias experimentais e estimadas com a taxa de equivalente de dose. A reta em azul indica a curva para as medidas estimadas, e os pontos pretos são os valores gerados através das medidas experimentais - Dados referentes a cirurgia 1.....	25
Figura 14. Gráfico relacionando as distâncias experimentais e estimadas com a taxa de equivalente de dose. A reta em azul indica a curva para as medidas estimadas, e os pontos pretos são os valores gerados através das medidas experimentais - Dados referentes a cirurgia 2.....	26
Figura 15. Gráfico relacionando as distâncias experimentais e estimadas com a taxa de equivalente de dose. A reta em azul indica a curva para as medidas estimadas, e os pontos pretos são os valores gerados através das medidas experimentais - Dados referentes a cirurgia 3.....	27
Figura 16. Gráfico relacionando as distâncias experimentais e estimadas com a taxa de equivalente de dose. A reta em azul indica a curva para as medidas estimadas, e os pontos pretos são os valores gerados através das medidas experimentais - Dados referentes a cirurgia 4.....	28
Figura 17. Sala 07 do Centro Cirúrgico (FMB), onde foi realizada a Cirurgia 01.....	36
Figura 18. Sala 13 do Centro Cirúrgico (FMB), onde foi realizada a Cirurgia 02.	36
Figura 19. Sala 04 do Centro Cirúrgico (FMB), onde foi realizada a Cirurgia 03.	37
Figura 20. Sala 07 do Centro Cirúrgico (FMB), onde foi realizada a Cirurgia 04.	37
Figura 21. Sala 04 do Centro Cirúrgico (FMB).....	38
Figura 22. Sala 03 do Centro Cirúrgico (FMB).....	38
Figura 23. Sala 13 do Centro Cirúrgico (FMB)	39
Figura 24. Sala 05 do Centro Cirúrgico (FMB)	39
Figura 25. Sala de Recuperação do Centro Cirúrgico (FMB).....	40
Figura 26. Sala de Conforto dos Médicos do Centro Cirúrgico (FMB)	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária

CI - Câmara de Ionização

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear

COREN - Conselho Regional de Enfermagem

CRM - Conselho Regional de Medicina

CRTR - Conselho Regional dos Técnicos em Radiologia

CVS - Centro de Vigilância Sanitária

DDP - Diferença de Potencial.

ICRP - Comissão Internacional de Proteção Radiológica.

IOE - Indivíduos Ocupacionalmente Expostos

LMP - Limite Máximo Permissível

SES - Secretaria Estadual de Saúde

TLD - Dosímetro Termoluminescente (Thermoluminescent Dosimeter).

LISTA DE SÍMBOLOS

λ – Comprimento de Onda.

dm – Elemento de Massa.

dQ – Cargas Elétricas.

dE – Transferência de Energia Cinética.

dE_{tr} – Transferência de Energia

X – Exposição.

Q – Fator de Qualidade.

H – Equivalente de Dose.

D – Dose Absorvida.

h – Constante de Planck ($h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ [m²kg/s])

c – Velocidade da Luz ($c = 299,792 \cdot 10^6$ m/s)

E – Energia.

d_0 – distância inicial (correspondente a $\dot{H}_0$).

d_x – distância a um ponto x que se quer medir (correspondente a $\dot{H}_x$).

W_T - é o fator de peso do tecido ou órgão.

H_T é o equivalente de dose no órgão.

H_E - Dose Equivalente Efetiva.

$\dot{X}$ – Taxa de Exposição (introduzida em [mR/min], neste trabalho).

$\dot{H}$ – Taxa de Equivalente de Dose (introduzida em [mSv/h], neste trabalho).

$\dot{H}_0$ – Taxa de Equivalente de Dose para o ponto inicial (correspondente a d_0)

$\dot{H}_x$ – Taxa de Equivalente de Dose correspondente a um ponto na distância x (correspondente a d_x).

SUMÁRIO

Dedicatória	I
Agradecimentos	II
Resumo.....	IV
Abstract	VI
Lista de Ilustrações.....	VIII
Lista de Abreviaturas e Siglas	IX
Lista de Símbolos.....	X
1. Introdução	1
1.1 Objetivos	3
1.2 Justificativas	3
2. Fundamentos Teóricos.....	5
2.1 Histórico da Radiação X.....	5
2.2 Definições Físicas.....	6
2.2.1 Radiação Ionizante	6
2.2.2 Produção e Propriedades da Radiação X.....	7
2.2.3 Interação da Radiação com a Matéria	9
2.2.4 Lei do Inverso do Quadrado da Distância	11
2.3 Dosimetria e Unidades Radiométricas	12
2.3.1 Exposição.....	12
2.3.2 Kerma	13
2.3.3 Dose Absorvida.....	13
2.3.4 Equivalente de Dose.....	13
2.3.5 Dose Equivalente Efetiva.....	14
2.4 Detectores de Radiação	14
2.4.1 Câmara de Ionização	15
2.4.2 Dosímetros Termoluminescentes	16
2.5 Proteção Radiológica.....	17
2.5.1 Princípios de Radioproteção	17
2.5.2 Diretrizes de Radioproteção.....	18
3. Metodologia	19
3.1 Equipamentos	19
3.1.1 Fluoroscopia	19
3.1.2 Detectores Utilizados	19
3.2 Procedimentos Aplicados.....	20
3.2.1 Determinação dos Níveis de Radiação em Tempo Real.....	20

3.2.2	Determinação dos Níveis de Radiação Integrados.....	21
3.3	Análise dos Resultados.....	21
4.	Resultados e Discussão	23
4.1	Medidas em Tempo Real - Câmara de Ionização	23
4.2	Medidas Integradas - Dosímetro Termoluminescente	29
5.	Conclusão	30
6.	Considerações Finais	31
	Referências Bibliográficas	33
	Apêndice A	36
	Apêndice B	38
	Anexo A	41

1. INTRODUÇÃO

O uso de radiações ionizantes vem crescendo significativamente nos mais diversos ramos de atividades. Logo após a sua descoberta, em 1895, os raios-x já se mostraram um grande aliado das ciências médicas, tendo sua maior aplicação no campo do radiodiagnóstico^{1,2,3,4,5}.

Acompanhando a oferta de novos e sofisticados equipamentos de radiologia, que propiciam melhor qualidade de imagem, os profissionais médicos especialistas não poderiam deixar de absorver as vantagens conseguidas na otimização dos procedimentos radiográficos com melhoria significativa da qualidade dos exames^{6,7}.

No entanto, como é sabido, as radiações ionizantes também apresentam riscos à saúde, quer seja do profissional que opera os equipamentos emissores de radiação, ou mesmo daqueles que ficam expostos aos feixes espalhados, bem como dos pacientes e público em geral. O câncer, que tem apresentado um significativo aumento de incidências³³, é um exemplo de patologia que pode apresentar origem por radioindução. Para se evitar estes efeitos deletérios da exposição exacerbada, é preciso a atuação consciente de todos os envolvidos, além de um controle periódico e sistemático dos níveis de radiação dos ambientes expostos^{9,10,11,12}.

Os órgãos governamentais que legislam sobre o uso e posse de fontes de radiação, periodicamente atualizam as normativas e novos instrumentos são dispostos para a comunidade técnico-científica envolvida^{13,14,15,16}.

No Brasil, na área do radiodiagnóstico, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA)¹⁷, juntamente com as Secretarias Estaduais de Saúde (SES)¹⁸, Centros de Vigilância Sanitária (CVS), bem como as autarquias municipais, são responsáveis pela autorização de funcionamento e fiscalização dos serviços de saúde que se utilizam de fontes de radiação ionizante nos seus procedimentos médico-clínicos^{19,20}.

No entanto, a demanda de serviços de radiologia é muito superior à capacidade de fiscalização in loco pelas autoridades sanitárias. Empresas privadas realizam os testes de controle de qualidade dos feixes e equipamentos de radiologia, os relatórios técnicos são expedidos por profissionais físicos especialistas e credenciados junto às Secretarias Estaduais de Saúde. Estes documentos devem então ser encaminhados à autoridade competente para autorização ou renovação da licença de funcionamento do estabelecimento^{12,21}.

Os testes de constância dos parâmetros radiométricos dos equipamentos emissores de radiação, realizados localmente pelas empresas, limitam-se a verificar, momentaneamente, as condições de operação conforme descrito na legislação, apontando os casos em que as medidas estão em conformidade ou não aos parâmetros aceitáveis previstos nos manuais e dispositivos legais²³. Nestas atividades, não são realizados estudos sistemáticos para levantamento da real situação de operação dos equipamentos e condições de trabalho dos profissionais envolvidos²⁴.

Os procedimentos médicos realizados nos centros cirúrgicos dos hospitais e clínicas, por sua própria natureza e especificidade, não permite a presença demasiada de pessoas não envolvidas diretamente com o ato operatório, ficando restritos ao atendimento dos médicos cirurgiões, anestesistas, instrumentadores, circulantes, enfermeiros e, na grande maioria dos casos, solicita a realização de exames radiográficos, exigindo a presença de profissional das técnicas radiológicas.

Como se tratam de profissões regulamentadas (CRTR, COREN, CRM, etc.), cada qual com suas legislações específicas, muitos questionamentos são feitos, alguns dos quais causando situações de desconforto do ponto de vista administrativo, podendo até prejudicar a rotina dos serviços. Acredita-se que o trabalho de treinamentos periódicos e divulgação direta dos conceitos de proteção radiológica podem minimizar os conflitos profissionais.

A realização de estudos da distribuição dos índices de exposição à radiação ionizante, junto ao ambiente de trabalho e com a participação dos profissionais envolvidos, também podem servir de importante ferramenta para a otimização da rotina dos procedimentos e prevenção de riscos à saúde do trabalhador ocupacionalmente exposto.

A literatura sobre física radiológica e protocolos de dosimetria^{25,26,27}, juntamente com os preceitos de radioproteção regimentados pelos órgãos e instituições governamentais especializadas, devem nortear as pesquisas e subsidiar as análises dos resultados da taxa de exposição à radiação ionizante pelos profissionais das técnicas radiológicas.

Pretende-se que a metodologia desenvolvida neste trabalho, para avaliação dos níveis de exposição à radiação ionizante à qual ficam expostos os profissionais que permanecem dentro ou na circulação do centro cirúrgico durante exposições radiográficas, seja satisfatoriamente reprodutível e possa servir, de forma eficiente e confiável, para minimizar os riscos à saúde dos trabalhadores envolvidos e preconizar as

decisões administrativo-hospitalares, além de corroborar com as políticas públicas relatadas na legislação específica em vigor.

1.1 Objetivos

Avaliar a taxa de exposição à radiação ionizante à qual são submetidos os profissionais que atuam nos procedimentos médicos realizados nos centros cirúrgicos, quando durante estas práticas são necessárias a visualização de imagens radiológicas.

Monitorar os níveis de radiação no interior e exterior da sala de cirurgia, obtendo o levantamento radiométrico ambiental integrado mensalmente, e assim poder comparar os momentos de maior exposição.

Subsidiar, através das medidas realizadas e dos preceitos de proteção radiológica, os programas de educação e orientação da comunidade hospitalar cujas atividades profissionais envolvam a permanência em ambientes próximos às salas de cirurgia.

Promover a compreensão da rotina prática do especialista no setor de radiodiagnóstico, propiciando a difusão do conhecimento e visando maior otimização dos procedimentos de medidas de níveis radiológicos.

Pretende-se assim, orientar sobre o uso de fontes de radiações ionizantes na área da saúde e realçar a importância da realização rotineira de testes de controle de qualidade e medidas dos níveis de radiação dos feixes de raios-x utilizados nos exames de radiologia, visando a obtenção de imagens radiológicas de qualidade, minimizando a taxa de exposição aos profissionais e pacientes e evitando a repetição desnecessária de exames.

1.2 Justificativas

O avanço tecnológico tem propiciado a construção e aquisição de equipamentos de radiologia com modernos recursos de imagens, o que favorece a solicitação de maior quantidade de exames, principalmente durante os procedimentos cirúrgicos. Este fato, aliado à falta de treinamento e conhecimento dos profissionais da saúde que atuam nos ambientes submetidos à exposição à radiação ionizante, tem provocado muitos questionamentos que, em alguns casos, inibem a oferta de cirurgias, inviabilizando a ampliação dos tratamentos.

A rotina de trabalho dos profissionais médicos, técnicos de radiologia e enfermeiros, envolvidos nos procedimentos cirúrgicos, muitas vezes faz com que eles

sejam submetidos à níveis de exposição à radiação ionizante acima do limite máximo permissível (LMP) preconizado nas legislações específicas de proteção radiológica. No entanto, medidas quantitativas destas exposições não são realizadas de forma sistemática e documentada, o que pode gerar, além riscos à saúde, problemas de ordem administrativo indesejáveis.

Acidentes radiológicos em exames de radiodiagnóstico com feixes de baixa energia têm sido relatados na literatura. Isto tem provocado os órgãos governamentais e induzido a atualizações sucessivas das legislações sobre proteção radiológica, algumas alterações dizem respeito aos limites primários de dose de radiação dos indivíduos ocupacionalmente expostos (IOE)⁹. No entanto, a fiscalização não consegue aferir os níveis de radiação de forma efetiva, o que torna necessários estudos como o proposto neste trabalho.

Desta forma, pretende-se avaliar os níveis de exposição à radiação ionizante nos pontos críticos e ambientes periféricos durante a realização de procedimentos radiológicos nos centros cirúrgicos, visando uniformizar e padronizar o posicionamento e tempo de atividade dos profissionais envolvidos, contribuindo assim para minimização da dose de radiação absorvida por estes trabalhadores.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A seguir são apresentados os fundamentos teóricos necessários para a contextualização deste trabalho e para posterior compreensão dos resultados obtidos.

2.1 Histórico da Radiação X

Em 1895, na cidade de Würzburg, Alemanha, o Físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen descobriu os raios x enquanto trabalhava com descargas elétricas em tubos contendo gases em seu laboratório. Nos experimentos realizados por Roentgen verificou-se que no decorrer do tempo de duração da descarga elétrica na ampola era produzida luminescência sobre uma tela de material fosforescente presente no laboratório. Através de experimentos adicionais, ele também descobriu que a luminescência ainda se fazia presente mesmo quando obstáculos eram colocados entre a ampola e a tela fosforescente. Aos raios causadores daquela luminescência, por serem de natureza desconhecida, foi dado o nome de raios-X. Não se imaginava que aquelas experiências dariam origem a uma nova ciência: a Radiologia.

Posteriormente, a fim de entender a natureza da radiação emitida pela ampola, novos estudos foram realizados para caracterizar o comportamento e analisar a sua capacidade de penetração em diversos tipos de obstáculos. Além de sensibilizar telas fosforescentes a radiação também se mostrou capaz de enegrecer filmes fotográficos. Estas descobertas levaram ao desenvolvimento de experimentos que permitiam o registro em filme fotográfico de estruturas internas de materiais sólidos e opacos. Essa capacidade foi demonstrada por Roentgen através da visualização dos ossos da mão de sua esposa, Anna Bertha Roentgen, e hoje esta imagem é considerada a primeira radiografia realizada. A Figura 1 ilustra esta radiografia.



Figura 1. Radiografia histórica da mão de Anna Bertha.

A notícia da descoberta e dos experimentos de Roentgen rapidamente disseminou-se por todo o mundo. Cientistas em todo lugar poderiam duplicar a sua experiência, já que o tubo de raios catódicos era muito conhecido durante este período. A comunidade científica da época sentiu-se impulsionada pela descoberta da radiação X, que permitia a "visualização" através de objetos opacos e maciços, com isto, o uso indiscriminado em aparelhos destinados a observação das estruturas internas do corpo humano se tornou frequente no final do século passado. No início de 1896, os raios-X já eram utilizados clinicamente nos Estados Unidos por coisas tais como fraturas e ferimentos por arma de fogo²⁸.

Apesar de haver um amplo desconhecimento sobre os eventuais efeitos colaterais que pudessem advir de sua utilização, o uso médico da radiação X disseminou-se pelo mundo. A plena falta de proteção, tanto de pacientes como de profissionais, com o tempo levou ao aparecimento de malefícios causados pela radiação. Isto fez com que seu uso fosse restringido e cercado de cuidados especiais como forma de proteção aqueles que delam faziam uso²⁹.

2.2 Definições Físicas

As definições físicas a seguir se fazem necessárias para a completa compreensão do trabalho e interpretação dos resultados.

2.2.1 Radiação Ionizante

A definição aplicável para radiação a coloca como o processo físico em que há emissão e propagação de energia, podendo ser classificada em ionizante ou não ionizante³⁰. As radiações ionizantes caracterizam-se pela capacidade de excitar e ionizar os átomos da matéria com quais elas interagem²⁶, elas podem ainda, ser agrupadas em radiações diretamente ionizantes, que ocorrem por meio de partículas dotadas de energia cinética carregadas positivamente (prótons) ou negativamente (elétrons), e radiações indiretamente ionizantes, que são constituídas por fótons (raios-X ou raios γ) ou partículas possuindo carga nula (nêutrons). Radiações indiretamente ionizantes dependem da produção de partículas carregadas para transmitir energia ao meio³¹.

No início do século XX, Max Planck, definiu a radiação eletromagnética como sendo quantizada, agregando os conceitos do comportamento de partículas e de ondas da radiação, ele propôs a ideia de *quantum* de energia (fóton) ao observar que a emissão

e absorção da radiação está associada com transições ou saltos entre níveis de energia. Essa teoria ficou conhecida como teoria quântica da luz, e foi a responsável pelo prêmio Nobel conferido a Planck em 1918³².

A magnitude desta energia liberada ou absorvida pode ser definida como:

$$E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

Onde:

E - Energia

h - Constante de Planck ($6,626 \cdot 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}$)

c - Velocidade da luz ($299,792 \cdot 10^6 \text{ m/s}$)

λ - comprimento de onda.

2.2.2 Produção e Propriedades da Radiação X

A radiação X origina-se da interação de uma substância com elétrons de alta energia e velocidade. Um tubo de Raios-X consiste, basicamente, em um anodo, contendo uma área alvo e um cátodo, contendo um filamento, envoltos numa ampola com vácuo, assim como ilustra a Figura 2.

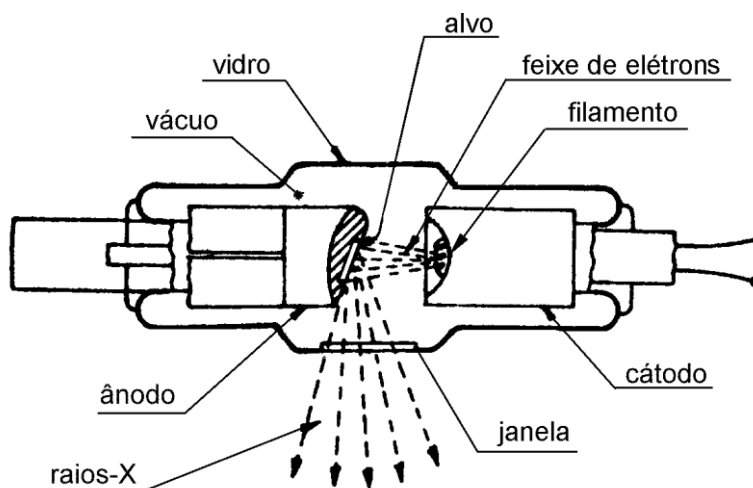


Figura 2. Tubo de raios-X.

Quando aquecido, o filamento existente no cátodo libera elétrons por um processo denominado emissão termiônica. Esses elétrons são acelerados em direção ao ânodo através de uma diferença de potencial e ao colidirem com o alvo, tem parte de sua energia convertida a radiação X. Para a eficiência desta conversão, o alvo presente no anodo deve possuir alto ponto de fusão para suportar temperaturas elevadas e alto

número atômico. O número de elétrons emitidos determina o rendimento do feixe de radiação e é controlado pela corrente do tubo [mA]. Já a diferença de tensão alternante [kV], aplicada entre o catodo e o ânodo determina a energia e consequentemente o poder de penetração do feixe de radiação^{27,31,33,34,35}.

A produção dos raios-X pode ocorrer de duas maneiras: por bremsstrahlung ou por radiação característica. No processo de bremsstrahlung, a radiação é produzida através de um elétron que se aproxima ao núcleo de um átomo do alvo, sendo ele desviado de sua trajetória original e atraído pelo núcleo. A energia cinética original do elétron é então cedida e origina fótons de radiação, que possuem variados comprimentos de onda e um intervalo variado de energia. Deste modo, o feixe de radiação produzido ainda terá que passar por filtros para reduzir a proporção de fótons de baixa energia, diminuindo a dose de radiação na região superficial, a qual não contribuirá para a sensibilização adequada e formação da imagem radiográfica.

No processo de radiação característica, o elétron interage com o átomo do anodo, ionizando-o, e assim arrancando outro elétron de uma de suas camadas mais internas. A vacância formada pelo elétron ejetado pode ser preenchida por outro elétron de uma camada mais externa, obedecendo as leis de transição de energia. Concomitante a este processo, ocorre a liberação de um fóton, que possui energia igual a diferença de energia dos níveis orbitais envolvidos²⁹.

Assim, o espectro de radiação x característico pode ser dividido em uma componente continua em função da desaceleração brusca dos íons (Bremsstrahlung) e uma componente discreta, em função da radiação característica produzida pelo material. A Figura 3 a seguir demonstra o espectro produzido.

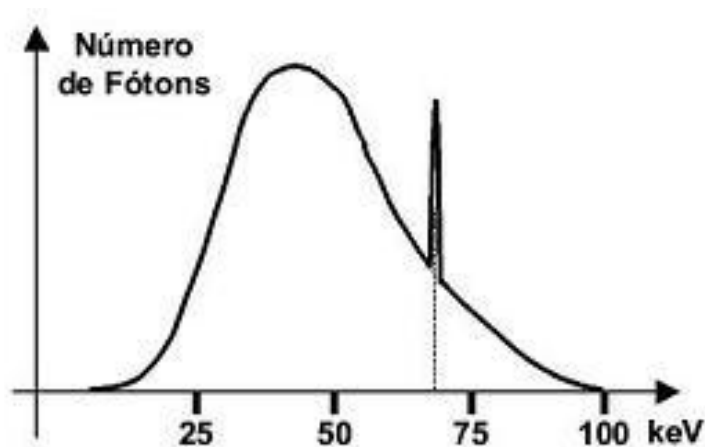


Figura 3. Espectro da Radiação X.

2.2.3 Interação da Radiação com a Matéria

Diferentes interações podem ocorrer entre fótons e os átomos de um meio absorvedor. A probabilidade de ocorrência destas interações é regida por fatores como energia do fóton incidente e número atômico Z do material atenuador. A Figura 4 relaciona essas probabilidades.

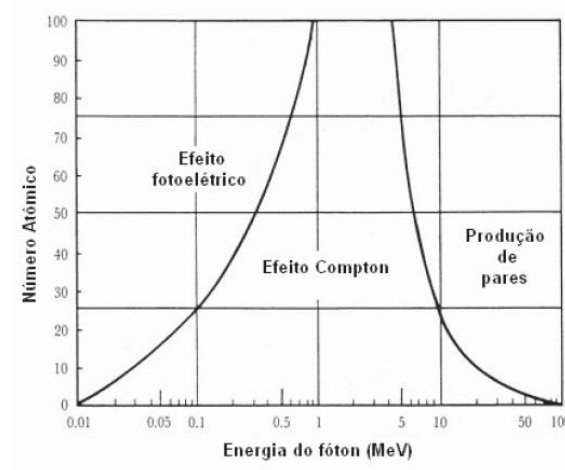


Figura 4. Representação das regiões de predominância dos três principais efeitos de interação da radiação com a matéria.

Abaixo são descritos os três principais eventos que ocorrem conforme a interação da radiação com a matéria.

- **Efeito Fotoelétrico.**

Neste sistema, um fóton incidente interage com um elétron orbital e transfere totalmente a sua energia que é utilizada vencer a energia de ligação do elétron, assim liberando-o. Posteriormente há um preenchimento desta vacância por um elétron de camada mais energética, gerando radiação X característica. Também podem ser produzidos elétrons Auger (elétron de um átomo causa a emissão de um segundo elétron). A Figura 5 ilustra estes efeitos.

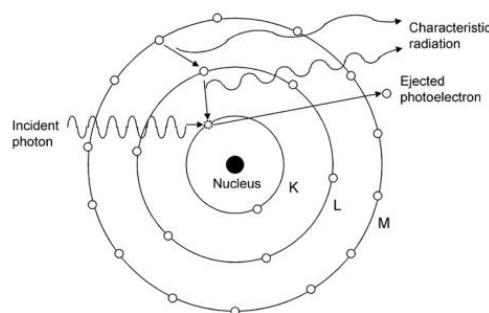


Figura 5. Efeito fotoelétrico.

- **Efeito Compton ou Espalhamento Incoerente.**

Ocorre devido a interação de um fóton incidente com um elétron fracamente ligado. O elétron vence a sua energia de ligação e é liberado com certa energia cinética. Porém o fóton inicial não transfere toda sua energia e é então espalhado a um determinado ângulo com menor energia. A Figura 6 ilustra este processo.

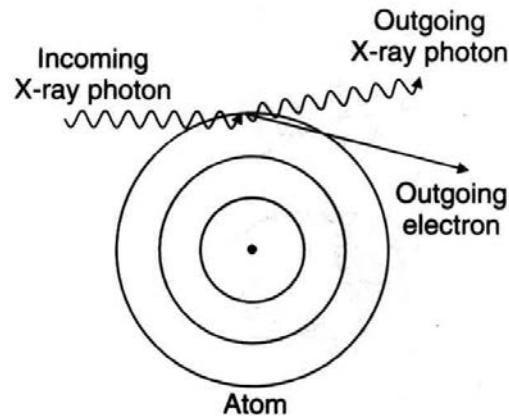


Figura 6. Efeito Compton.

- **Produção de Pares.**

Neste processo, o fóton deve possuir energia mínima necessária de 1,022 MeV. Ele irá interagir com o campo eletromagnético de um núcleo atômico e toda a energia é utilizada para a produção de um par, sendo formados um elétron e um pósitron. Desta maneira, a energia é convertida em massa, conforme a equação de Einstein $E=mc^2$. A Figura 7 ilustra o processo de produção de pares.

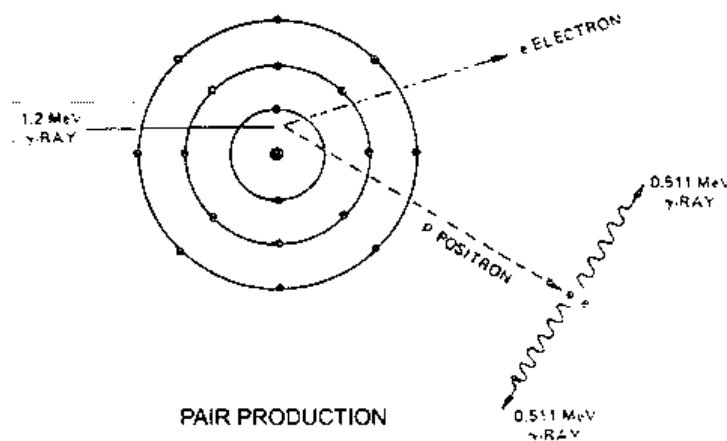


Figura 7. Produção de Pares.

2.2.4 Lei do Inverso do Quadrado da Distância

A lei do inverso do quadrado da distância pode ser facilmente observada experimentalmente. Ela surge como consequência do fato de que a radiação emitida se espalha uniformemente no espaço a medida que a fonte é progressivamente afastada. Isto é, quando maior a distância da fonte menores irão ser os valores de intensidade do feixe de radiação medidos. A Figura 8 ilustra a distribuição espacial da intensidade da fonte de raios-X.

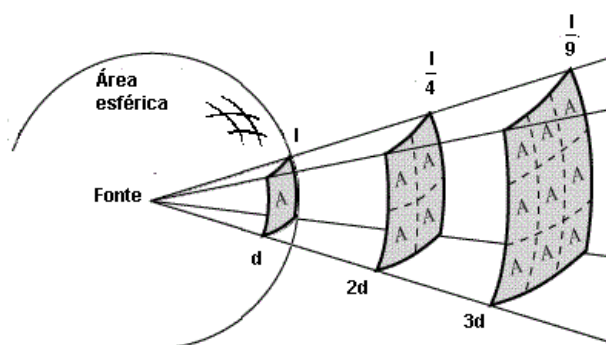


Figura 8. Esquema demonstrando a variação da intensidade com o inverso do quadrado da distância.

Desta forma, através dos valores de intensidade, é possível estimar os valores de distância, desde que um valor da medição da distância seja conhecido, conforme feito para comparação dos resultados deste trabalho. Deste modo tem-se:

$$\frac{\dot{H}_0}{\dot{H}_x} = \frac{d_x^2}{d_0^2}$$

$$\sqrt{\frac{\dot{H}_0}{\dot{H}_x}} \cdot d_0^2 = d_x$$

Onde:

$\dot{H}_0$ – Taxa de Equivalente de Dose para o ponto inicial (correspondente a d_0)

$\dot{H}_x$ – Taxa de Equivalente de Dose correspondente a um ponto na distância x (correspondente a d_x).

d_0 – distância inicial (correspondente a $\dot{H}_0$).

d_x – distância a um ponto x que se quer medir (correspondente a $\dot{H}_x$).

2.3 Dosimetria e Unidades Radiométricas

Com a realização de um vasto número de experiências ao longo dos anos, algumas com efeitos indesejáveis, investigadores adquiriram conhecimentos capazes de garantir que a radiação ionizante fosse utilizada de forma benéfica. Uma das questões primordiais no emprego da radiação ionizante era como realizar a sua medição através da própria radiação ou através dos os efeitos de sua interação com a matéria. A medida da radiação ionizante e a investigação dos efeitos que ela causa é de extrema importância para determinação de um limite permissível, que evite doenças causadas por radioindução e outros efeitos deletérios.

Com o advento da tecnologia descobriu-se que as radiações ionizantes não podem ser medidas diretamente, a detecção é realizada pelo resultado produzido da interação da radiação com um meio sensível (detector). As quantidades radiométricas mais utilizadas serão apresentadas a seguir.

2.3.1 Exposição

A Comissão Nacional de Energia Nuclear⁹, define exposição como "ato ou condição de estar submetido a radiação ionizante". Mais precisamente, esta também é uma grandeza que mede a soma de todas as cargas elétricas de todas as ionizações (com igual sinal) produzidas no ar por raios-x ou raios γ , quando os elétrons liberados pelos fótons em um elemento de volume de ar de massa são absorvidos. Deste modo, pode-se definir:

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

Onde:

X – Exposição.

dQ – Cargas Elétricas.

dm – Elemento de Massa.

Roentgen como unidade de exposição está em desuso, Esta é a unidade para a quantidade de radiação necessária para libertar cargas positivas e negativas de 1 unidade eletrostática de carga (esu) de 1 cm³ de ar seco à temperatura e pressão normais. Atualmente dá-se preferência a unidade utilizada para medir exposição, de acordo com

o Sistema Internacional de Unidades, que é Coulomb por Kilograma, sendo: $1R = 2,58 \cdot 10^{-4} C/kg$.

2.3.2 Kerma

A grandeza Kerma, do inglês: *kinetic energy released in the medium*, descreve quantidade de energia cinética que os nêutrons e fótons (radiação indiretamente ionizante) transferem para prótons e elétrons (radiação diretamente ionizante) quando interagem com a matéria. Esta transferência de energia cinética dos fótons/nêutrons aos elétrons/prótons no meio por unidade de massa, é deste modo:

$$Kerma = \frac{dE_{tr}}{dm}$$

Onde:

dE_{tr} – Transferência de Energia

dm – Unidade de Massa.

A unidade definida para descrever o Kerma é Gray (Gy), sendo $1Gy=1 J/kg$.

2.3.3 Dose Absorvida

A dose absorvida mede a quantidade de energia depositada em uma determinada massa de um meio absorvente²⁹. Assim, partículas carregadas (elétrons) transferem parte da energia cinética para um meio de volume:

$$D = \frac{dE}{dm}$$

Onde:

D – Dose Absorvida.

dE – Transferência de Energia Cinética.

dm – Unidade de Massa.

Esta grandeza possui a mesma unidade que o kerma: Gy ou J/kg

2.3.4 Equivalente de Dose

Equivalente de Dose é uma grandeza que leva em conta a capacidade de uma determinada radiação ionizante de provocar efeitos biológicos. O equivalente de dose, é obtido multiplicando a dose absorvida por um fator de ponderação, que é específico

para diferentes tipos de radiação ionizante. Este fator é chamado de *fator de qualidade*. Valores de fator de qualidade para vários tipos de radiação são dados de acordo com a ICRP. Logo:

$$H = D \cdot Q$$

Onde:

H – Equivalente de Dose.

D – Dose Absorvida.

Q – Fator de Qualidade.

A unidade que mede equivalente de dose é o Sievert (Sv), que é semelhante ao Gray (Gy). Logo, 1Sv = 1Gy.

2.3.5 Dose Equivalente Efetiva

A Dose equivalente Efetiva visa calcular o dano biológico de expor à radiação ionizante a todo o corpo através dos danos parciais causados em cada um dos órgãos. Logo, a dose equivalente efetiva se expressa matematicamente como o somatório ponderado das doses equivalentes de cada órgão:

$$H_E = \sum_w w_T H_T$$

onde

H_E - Dose Equivalente Efetiva.

w_T - é o fator de peso do tecido ou órgão.

H_T é o equivalente de dose no órgão.

2.4 Detectores de Radiação

Define-se como detectores de radiação os dispositivos que, quando colocados em um meio onde exista um campo de radiação, sejam capaz de indicar a sua presença. Os materiais utilizados para detecção de radiação podem ser divididos entre detectores passivos e ativos. Os detectores passivos não necessitam de energia elétrica para acusar a presença da radiação, isto é, esses dispositivos indicam a sua presença e/ou quantidade somente após a ocorrência da exposição, sendo frequentemente utilizados em rotinas de monitoração de exposição ocupacional. Dos vários tipos de detectores passivos, destacam-se: filmes radiográficos, canetas dosimétricas, materiais termoluminescentes, entre outros.

Já os detectores ativos são constituídos de materiais que sofrem alterações físico-químicas, podendo ser associados com circuitos eletrônicos e criarem instrumentos para a medição instantânea da radiação. Eles são empregados quando há necessidade de melhor quantificação da radiação presente no ambiente. Dos vários tipos de detectores ativos, destacam-se: câmara a gás, cintilador, semiconductor, entre outros.

A principal diferença entre as categorias de detectores está relacionada com a dependência energética, bem como os volumes sensíveis e eficiência que se deseja obter com a medição. Como resultado, cada tipo de detector possui uma aplicação com a qual a sua eficiência e precisão será melhor. Para a realização deste trabalho foram feitas medidas em tempo real utilizando uma Câmara de Ionização a Gás e medidas integradas utilizando dosímetros termoluminescentes, o funcionamento de ambos será descrito a seguir.

2.4.1 Câmara de Ionização

As câmaras de ionização podem apresentar formas e tamanhos diferentes, de acordo com o uso, no entanto algumas propriedades são gerais para todas elas. Os seus principais componentes são os eletrodos de coleção: o ânodo e o cátodo. Grande parte das câmaras de ionização possuem a parede externa de revestimento operando como cátodo. Assim, cria-se uma diferença de potencial (ddp) entre o ânodo e o cátodo. Esta diferença de potencial para a região de ionização costuma variar de cem a quinhentos volts. Há ainda outros parâmetros que costumam variar de câmara para câmara como por exemplo o volume sensível e o formato do cátodo e do ânodo. A Figura 9 a seguir ilustra estas diferentes disposições dos componentes de uma CI.

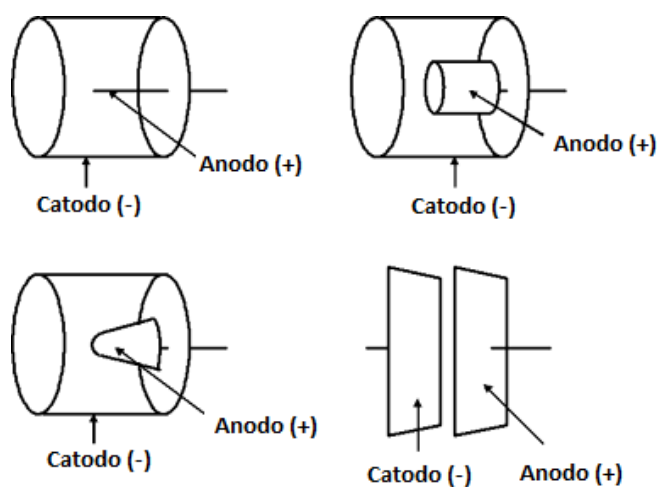


Figura 9. Câmaras de ionização com componentes (ânodo e cátodo) distintos.

2.4.2 Dosímetros Termoluminescentes

Dosímetros Termoluminescentes são detectores comumente aplicados na monitoração pessoal de indivíduos. O processo de termoluminescência ocorre quando um material é aquecido e consequentemente libera luz visível. Este material é baseado no uso de cristais nos quais a radiação ionizante cria pares de elétrons e lacunas que podem ser detectados posteriormente por uso de energia térmica.

Os materiais que constituem os dosímetros termoluminescentes são cristais iônicos nos quais primeiramente, na banda de valência há grande presença de elétrons, enquanto que a de condução encontra-se vazia. Ambas as bandas são separadas por uma faixa larga de estados energéticos não permitidos aos elétrons, este intervalo é denominado banda proibida.

A Figura 10 abaixo demonstra a disposição das bandas e os processos ocorridos nelas.

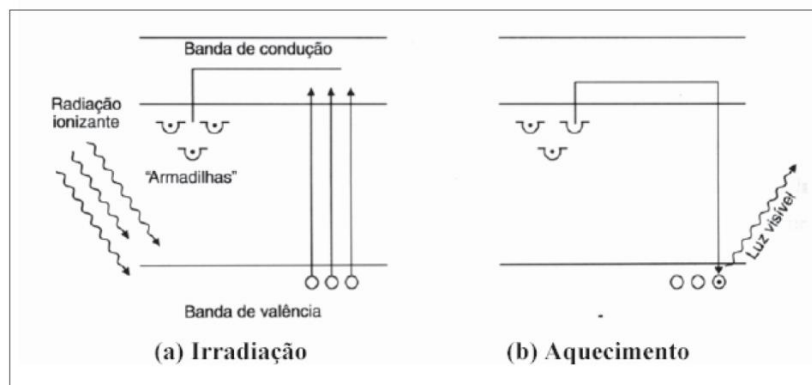


Figura 10. Esquematização do processo de termoluminescência nas etapas de (a) irradiação e (b) aquecimento do cristal.

Nos cristais iônicos, o fenômeno da termoluminescência ocorre quando armadilhas para elétrons são intencionalmente criadas através da adição de impurezas (dopante) ou de um processamento especial do material. Inicialmente, a radiação ionizante faz com que os elétrons da banda de valência migrem para a banda de condução, onde eles ficam livres para se movimentar e podem atingir uma das armadilhas. Por fim, quando o material é aquecido, os elétrons armadilhados obtêm a energia térmica necessária para serem ejetados e retornar a banda de valência. Neste processo ocorre a emissão de luz visível²⁷.

A quantidade de luz gerada por este processo térmico é então medida, sendo proporcional a exposição a radiação ionizante sofrida pelo cristal, até atingir um limiar

máximo. As maiores vantagens na utilização de dosímetros termoluminescentes são a sua portabilidade, o seu pequeno tamanho e o fato de consistirem de um único material pois a leitura torna-se independente da distribuição angular da radiação. Por outro lado a demora na leitura, bem como a perda das informações após a leitura contam como desvantagens para este tipo de dosímetro.

2.5 Proteção Radiológica

A seguir são introduzidos princípios de radioproteção e as diretrizes que coordenam as práticas que utilizam radiação ionizante.

2.5.1 Princípios de Radioproteção

Atualmente os efeitos da interação da radiação com sistemas biológicos são conhecidos, estudados e amplamente discutidos. Sabe-se que as mudanças causadas, no âmbito biológico, podem ser maléficas ou benéficas e tem a possibilidade de tornarem-se evidentes imediatamente ou demorarem anos e até gerações para se manifestarem. Portanto sua probabilidade de ocorrência, tipo e severidade dependem de muitos fatores, alguns relacionados com as próprias características dos sistemas vivos atingidos e outros relacionados ao tipo de radiação e seus aspectos.

Os princípios adotados visando a utilização benéfica das radiações ionizantes são:

- **Justificativa** - A utilização de radiações ionizantes resulta no acúmulo de dose como fator preponderante no período de vários anos, mesmo que as doses intermitentes recebidas durante este período sejam pequenas. Por isto, qualquer atividade envolvendo exposição a radiação deve ser justificada em relação a outras alternativas, e produzir um efeito benéfico para a sociedade.

- **Otimização** - "As práticas envolvendo radiações ionizantes devem ser planejadas, implantadas e executadas de modo que a magnitude das doses individuais, o número de pessoas expostas e a probabilidade de exposições acidentais sejam tão baixos quanto razoavelmente exequíveis" (ICRP105, 2007)^{20,31,37}.

- **Limitação da Dose Individual** - Para evitar os efeitos deletérios da radiação impõe-se que as doses individuais dos trabalhadores e de indivíduos do público não ultrapassem o LMP estabelecido pela legislação.

2.5.2 Diretrizes de Radioproteção

Os termos *proteção radiológica* e *radioproteção* vêm especificados pela CNEN como o "conjunto de medidas que visam a proteger o ser humano e seus descendentes contra possíveis efeitos indesejados causados pela radiação ionizante"⁹.

Visando a preocupação com o problema da interação da radiação ionizante com o corpo humano e os danos por ela causados, foi fundada em 1928 a ICRP - Comissão Internacional de Proteção Radiológica, que faz recomendações voltadas para a definição de grandezas limitantes, tanto para o trabalhador com radiações ionizantes, como para o público em geral.

No Brasil, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) é o órgão responsável no quanto às aplicações das técnicas nucleares¹. Orientando todo e qualquer uso de radiação ionizante através de normas e diretrizes de radioproteção²⁷.

Conforme a legislação atual (resolução SS-625 de 14/12/1994, da Secretaria de Estado da Saúde, e Portaria nº 453 de 01/06/1998 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde), todos os serviços que utilizam radiações ionizantes devem realizar as medidas de Levantamento Radiométrico em suas instalações, Teste de Radiação de Fuga do cabeçote dos seus aparelhos de raios-x e implementar o Programa de Garantia de Qualidade nos serviços²⁰.

3. METODOLOGIA

A seguir, estão detalhados os materiais utilizados para a realização das medidas, assim como os procedimentos desenvolvidos e a descrição dos métodos de análise dos resultados demonstrados posteriormente.

3.1 Equipamentos

3.1.1 Fluoroscopia

A fluoroscopia é um exame que possibilita a obtenção de imagens em movimento e em tempo real, a partir da emissão de radiação X. Ao contrario dos exames convencionais que utilizam raios-x, a fluoroscopia não necessita de revelação posterior de uma imagem pois suas imagens dinâmicas geralmente são exibidas em monitores. Assim, este exame permite a percepção de movimentações orgânicas internas, como no intestino ou nos vasos, através do uso de contrastes ou de um cateter, por exemplo.

A fluoroscopia também difere de outros exames devido a sua faixa de energia utilizada, pois esta é relativamente baixa. Porém os níveis de dose aos pacientes, aos profissionais e ao público, podem se tornar altos com a longa duração do tempo total de exame. Neste trabalho, foram utilizados os fluoroscópios móveis presentes no Centro Cirúrgico do Hospital das Clínicas da UNESP de Botucatu. A disposição dos equipamentos e dos profissionais que atuaram nas cirurgias estão ilustrados no *Apêndice A*.

3.1.2 Detectores Utilizados

Para a realização deste trabalho foram utilizados dois tipos de detectores para medições da taxa de exposição:

- CÂMARA DE IONIZAÇÃO da marca RADCAL, modelo 20X6-180 (Figura 11), acoplada à um eletrômetro da mesma marca e modelo 2026C. Estando ambos devidamente calibrados. O *Apêndice A* apresenta as plantas baixas (feitas experimentalmente) das salas do centro cirúrgico do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu, onde foram realizadas as medições da taxa de exposição utilizando-se a câmara de ionização. Os seis pontos medidos foram ressaltados em cada uma das esquematizações.



Figura 11. Câmara de ionização utilizada para realização das medidas em tempo real.

• **DOSÍMETROS TERMOLUMINESCENTES** (Figura 12) - 31 unidades fornecidas pela empresa PRORAD. Sistema Tandem, com um detector de LIF e um de Sulfato de Cálcio (dosímetro tórax). No *Apêndice B* são apresentadas as plantas baixas (feitas experimentalmente) das salas do centro cirúrgico do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu, onde foram realizadas as medições da taxa de exposição utilizando-se dosímetros termoluminescentes, assim como a disposição dos mesmos.



Figura 12. Exemplo de TLD utilizado para medições integradas.

3.2 Procedimentos Aplicados

A seguir é descrito detalhadamente o desenvolvimento dos métodos adotados.

3.2.1 Determinação dos Níveis de Radiação em Tempo Real

Realizaram-se leituras em tempo real dos níveis de exposição a radiação no interior de quatro diferentes salas de cirurgia, durante a execução de quatro procedimentos cirúrgicos distintos, sendo:

- **Cirurgia 1** - Cirurgia ortopédica na região do ombro.
- **Cirurgia 2** - Cirurgia ortopédica para implantação de pino metálico na perna.
- **Cirurgia 3** - Cirurgia para procedimento vascular.
- **Cirurgia 4** - Cirurgia ortopédica na região do braço.

A princípio, foram obtidas as taxas de exposição (em [mR/min]) através das leituras fornecidas pela utilização da câmara de ionização acoplada ao eletrômetro. Estas leituras foram tomadas em 6 pontos distintos no interior de cada sala cirúrgica, representando a posição de ocupação da equipe envolvida nos procedimentos.

3.2.2 Determinação dos Níveis de Radiação Integrados

Nesta etapa, utilizaram-se trinta e um dosímetros termoluminescentes, de modo que trinta foram distribuídos em diferentes pontos do centro cirúrgico, fixados por um período de trinta dias. Estes dosímetros foram fixados nas paredes das salas de cirurgia e do corredor, a aproximadamente 1,60 metro do solo. O dosímetro restante foi guardado de forma que não fosse possível a incidência de radiação ionizante no mesmo por meio de equipamentos de fluoroscopia, consequentemente tornando-o o 'dosímetro controle'. Segundo informações do fabricante, os dosímetros TLD's são do Sistema Tandem, com um detector de LIF e um de Sulfato de Cálcio (dosímetro tórax).

Após o decorrer do intervalo de trinta dias, os dosímetros eram recolhidos e enviados para a PRO-RAD para a obtenção das leituras. Este procedimento se repetiu por quatro meses, sendo iniciado em junho de 2012 e finalizado em setembro de 2012 assim como mostra o relatório de doses no *Anexo A*.

3.3 Análise dos Resultados

A quantificação dos resultados requereu o uso de dois tipos diferentes de detectores de radiação com o propósito de assegurar uma plena avaliação dos níveis ambientais de radiação em tempo real e com a soma das doses incidentes recebidas (integrada), e também confirmar a dependência dos valores nos dois métodos. Isto é, assegurar que os níveis de radiação decairão conforme a distância da fonte de raios-X.

Inicialmente, para as medidas em tempo real, foi realizada a conversão dos valores de taxa de exposição para taxa de equivalente de dose, pois esta grandeza descreve o efeito dos distintos tipos de radiações ionizantes sobre os tecidos vivos, o que é de grande importância para comparações no âmbito científico. Para a conversão de Roentgen (ar) para Sv foi considerado²⁷:

$$1R = 0,869 \text{ rad} \quad \text{e} \quad 1Gy = 1Sv = 100 \text{ rad}$$

$$\text{Logo, } 1R = 0,00869 \text{ Sv}$$

A intensa ocupação da sala cirúrgica por equipamentos e funcionários dificultou a medição de todos os pontos em relação ao eixo central da fonte de raios-x. Portanto, a partir das menores distâncias, onde a equipe médica se fazia presente e, onde foram medidos os maiores valores de taxas de exposição, foram estimadas as demais distâncias dos outros cinco pontos mensurados durante as respectivas cirurgias e comparados com os valores experimentais obtidos. Estes dados compuseram gráficos que permitiram relacionar taxa de equivalente de dose e distância, confirmando dados regidos pela lei do inverso do quadrado da distância

Por fim, considerando o tempo total do funcionamento dos equipamentos de fluoroscopia, foi possível a conversão de taxa de equivalente de dose para equivalente de dose, e assim, estes valores foram associados com limite máximo permissível preconizado pela legislação, para indivíduos ocupacionalmente expostos.

Para as medidas integradas, realizadas com os dosímetros termoluminescentes os resultados eram emitidos pela empresa responsável pela leitura. Os relatórios de dose podem ser observados no *Anexo A* no fim deste trabalho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados obtidos, separados em duas fases para melhor análise de seus valores e de seus métodos de aquisição.

4.1 Medidas em Tempo Real - Câmara de Ionização

Primeiramente, foram coletados dados referentes a taxa de exposição à radiação ($\dot{X}$ – em mR/min) ionizante a que estavam submetidos os profissionais operantes no centro cirúrgico. A Tabela 1 exibe estes valores mensurados a partir do uso de uma câmara de ionização da marca RADCAL, modelo 20X6-180, acoplada a um eletrômetro da mesma marca, e modelo 2026C. A Figura 17 foi antecipadamente exposta nesta parte do trabalho (poderá ser observada, juntamente com as outras plantas baixas referentes as outras salas de cirurgia no Apêndice A) somente para exemplificar como foram distribuídos os 6 pontos no interior das salas cirúrgicas.



Figura 17 presente no Apêndice A, pág 34.

Tabela 1 - Valores de taxa de exposição (mR/min) obtidos através das leituras com a câmara de ionização.

Pontos	Cirurgia 1 $\dot{X} \left(\frac{mR}{min} \right)$	Cirurgia 2 $\dot{X} \left(\frac{mR}{min} \right)$	Cirurgia 3 $\dot{X} \left(\frac{mR}{min} \right)$	Cirurgia 4 $\dot{X} \left(\frac{mR}{min} \right)$
1	8,2000	2,9000	16,3000	1,0000
2	1,1000	1,7000	10,0000	0,2167
3	0,8000	1,4000	6,3000	0,2167
4	0,7000	0,7000	2,2000	0,1000
5	0,2000	0,3000	0,4000	0,0167
6	0,1000	0,0003	0,4000	0,0003

Também foram aferidos o intervalo de tempo total em que a máquina operou e o número de vezes em que o feixe de radiação X foi liberado através do pressionamento do pedal do equipamento. Estes dados compõem a Tabela 2.

Tabela 2 - Número de vezes em que utilizou-se, ininterruptamente, o feixe de raios-X para fluoroscopia e o tempo total de funcionamento do equipamento.

	Cirurgia 1	Cirurgia 2	Cirurgia 3	Cirurgia 4
Tempo Total (min)	0,290	2,170	1,000	1,410
Número de Escopias	19	25	10	13

A Tabela 3 introduz a conversão de taxa de exposição (mR/min) em taxa de equivalente de dose (mSv/h). Isto é feito pois a taxa de exposição é uma grandeza definida para o ar. Desta forma, ao transforma-la em taxa de equivalente de dose, consideramos a dose absorvida média no órgão ou tecido e os efeitos de radiações de natureza diferentes. Assim, esta grandeza é adotada para evidenciar os efeitos da radiação ionizante sobre o corpo humano.

Tabela 3 - Valores de taxa de equivalente de dose (mSv/h) obtidos através da conversão de dados da Tabela 1, de acordo com as respectivas cirurgias.

Pontos	Cirurgia 1 $\dot{H} \left(\frac{mSv}{h} \right)$	Cirurgia 2 $\dot{H} \left(\frac{mSv}{h} \right)$	Cirurgia 3 $\dot{H} \left(\frac{mSv}{h} \right)$	Cirurgia 4 $\dot{H} \left(\frac{mSv}{h} \right)$
1	4,2784	1,5131	8,5047	0,5218
2	0,5739	0,8870	5,2176	0,1130
3	0,4174	0,7305	3,2871	0,1130
4	0,3652	0,3652	1,1479	0,0522
5	0,1044	0,1565	0,2087	0,0087
6	0,0522	0,0002	0,2087	0,0002

A seguir, para cada cirurgia são comparadas a distância experimental, entre o feixe central de raios-X e os pontos, com a distância estimada, calculada através das medidas experimentais entre os pontos 1 e o eixo central dos feixes, e dos valores da taxa de equivalente de dose em todos os pontos. Deste modo, foi aplicada a lei do inverso do quadrado da distância já demonstrada no item 2.2.4.

As Tabelas 4, 5, 6 e 7 expõe os valores da taxa de equivalente de dose e das distâncias experimentais e estimadas. Os gráficos (Figuras 13, 14, 15 e 16) ilustram a relação entre estas grandezas.

- **Cirurgia 1**

Tabela 4 - Relação dos valores de equivalente de dose (mSv/h) com as distâncias experimentais e estimadas - Dados referentes a cirurgia 1.

Pontos	Cirurgia 1		
	$\dot{H} \left(\frac{mSv}{h} \right)$	$D_{exp} (m)$	$D_{est} (m)$
1	4,2784	0,40	0,40
2	0,5739	0,90	1,09
3	0,4174	1,10	1,28
4	0,3652	1,30	1,37
5	0,1044	2,90	2,56
6	0,0522	3,30	3,62

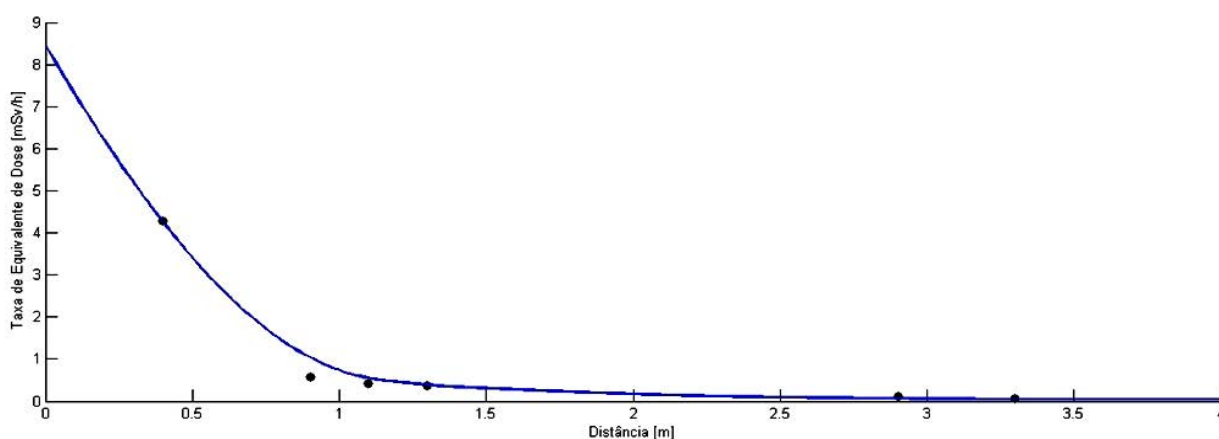


Figura 13. Gráfico relacionando as distâncias experimentais e estimadas com a taxa de equivalente de dose. A reta em azul indica a curva para as medidas estimadas, e os pontos pretos são os valores gerados através das medidas experimentais - Dados referentes a cirurgia 1 (Tabela 4).

- **Cirurgia 2**

Tabela 5 - Relação dos valores de equivalente de dose (mSv/h) com as distâncias experimentais e estimadas - Dados referentes a cirurgia 2.

Pontos	Cirurgia 2		
	$\dot{H} \left(\frac{mSv}{h} \right)$	$D_{exp} (m)$	$D_{est} (m)$
1	1,5131	0,70	0,7
2	0,8870	0,80	0,91
3	0,7305	1,00	1,01
4	0,3652	1,20	1,42
5	0,1565	2,00	2,18
6	0,0002	3,10	-

No ponto 6 da Cirurgia 2 os valores prévios obtidos de Taxa de Exposição tenderam ao valor da radiação ambiental normal, isto é, foram detectados valores muito pequenos de taxa de exposição que não fazem parte do intervalo de sensibilidade da câmara de ionização, não sendo possível estimar um número aproximado e coerente com o valor da distância real medida .

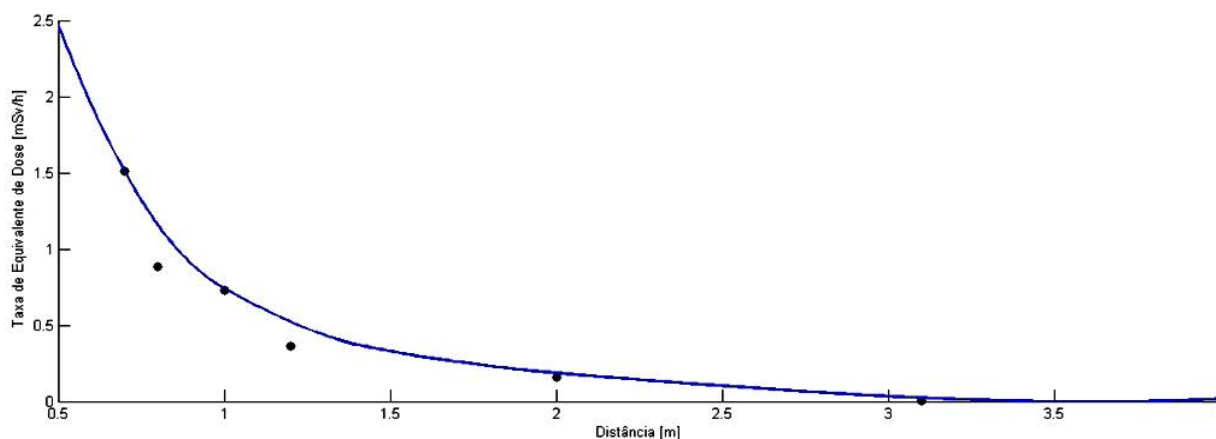


Figura 14. Gráfico relacionando as distâncias experimentais e estimadas com a taxa de equivalente de dose. A reta em azul indica a curva para as medidas estimadas, e os pontos pretos são os valores gerados através das medidas experimentais - Dados referentes a cirurgia 2 (Tabela 5)

- **Cirurgia 3**

Tabela 6 - Relação dos valores de equivalente de dose (mSv/h) com as distâncias experimentais e estimadas - Dados referentes a cirurgia 3.

Pontos	Cirurgia 3		
	$\dot{H} \left(\frac{mSv}{h} \right)$	$D_{exp} (m)$	$D_{est} (m)$
1	8,5047	0,50	0,50
2	5,2176	0,70	0,64
3	3,2871	0,80	0,80
4	1,1479	1,20	1,36
5	0,2087	3,10	3,19
6	0,2087	3,20	3,19

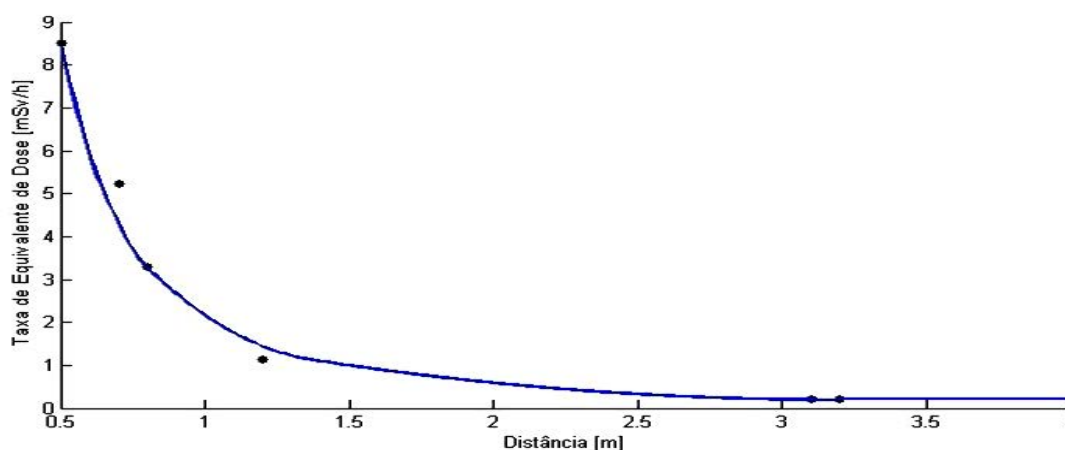


Figura 15. Gráfico relacionando as distâncias experimentais e estimadas com a taxa de equivalente de dose. A reta em azul indica a curva para as medidas estimadas, e os pontos pretos são os valores gerados através das medidas experimentais - Dados referentes a cirurgia 3 (Tabela 6)

- **Cirurgia 4**

Tabela 7 - Relação dos valores de equivalente de dose (mSv/h) com as distâncias experimentais e estimadas - Dados referentes a cirurgia 4.

Pontos	Cirurgia 4		
	$\dot{H} \left(\frac{mSv}{h} \right)$	$D_{exp} (m)$	$D_{est} (m)$
1	0,5218	0,5	0,50
2	0,1130	1,2	1,07
3	0,1130	1,2	1,07
4	0,0522	1,6	1,58
5	0,0087	3,7	3,87
6	0,0002	4	-

Obs: No ponto 6 da Cirurgia 4 foi observada a mesma situação que o ponto 6 da Cirurgia 2.

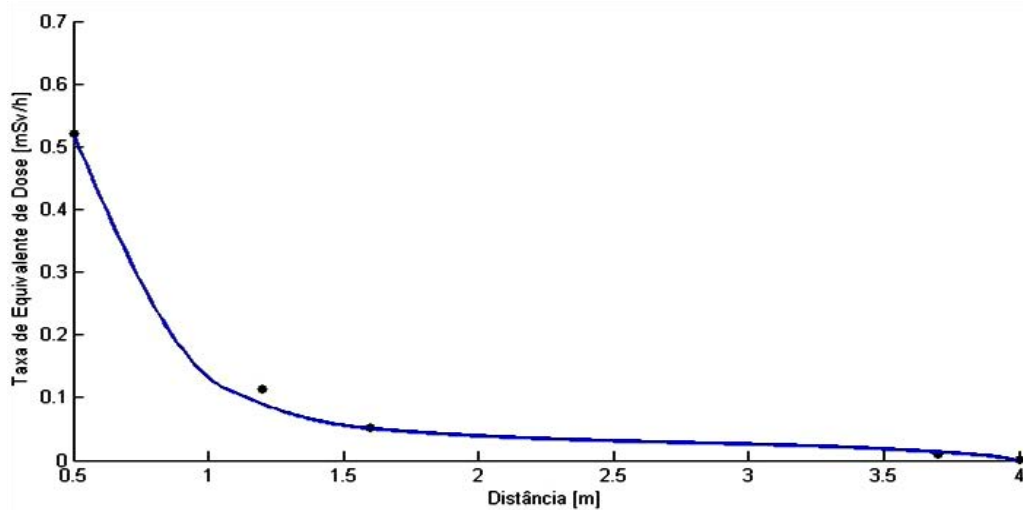


Figura 16. Gráfico relacionando as distâncias experimentais e estimadas com a taxa de equivalente de dose. A reta em azul indica a curva para as medidas estimadas, e os pontos pretos são os valores gerados através das medidas experimentais - Dados referentes a cirurgia 4 (Tabela 7)

Através da observação dos gráficos, podemos notar que as medidas experimentais (pontos em preto) não diferiram muito das medidas estimadas (reta em azul). Isto infere na confirmação da lei do inverso do quadrado da distância.

Considerando os valores de tempo decorrentes em cada uma das cirurgias, pode-se obter o valor de equivalente de dose para cada um dos pontos adotados através da fórmula:

$$H [mSv] = \dot{H} \left[\frac{mSv}{h} \right] \cdot t_{cirurgia} [min] \cdot \frac{1 [h]}{60 [min]}$$

A Tabela 5 apresenta o resultado da aplicação da fórmula acima em todos os pontos.

Tabela 5 - Valores de equivalente de dose (mSv) obtidos considerando o tempo total (min) de cada uma das respectivas cirurgias.

Pontos	Cirurgia 1	Cirurgia 2	Cirurgia 3	Cirurgia 4
	$H(mSv)$	$H(mSv)$	$H(mSv)$	$H(mSv)$
1	0,0207	0,0547	0,1417	0,0123
2	0,0028	0,0321	0,0870	0,0027
3	0,0020	0,0264	0,0548	0,0027
4	0,0018	0,0132	0,0191	0,0012
5	0,0005	0,0057	0,0035	0,0002
6	0,0003	$7,23 \cdot 10^{-06}$	0,0035	$4,70 \cdot 10^{-06}$

As normas da CNEN⁹ estabelecem que, para um indivíduo ocupacionalmente exposto, o limite de dose permissível por ano é de 20 mSv. Com a obtenção dos valores prévios de equivalente de dose pode-se aferir quantas cirurgias, semelhantes as já realizadas, os profissionais poderiam acompanhar até que esse limite de dose fosse atingido. O resultado é apresentado a seguir na Tabela 6.

Tabela 6 - Quantificação do número de cirurgias que poderiam ser realizadas em um ano tomando por base o equivalente de dose obtido em cada ponto e o LMP de 20 mSv/ano, estabelecido na legislação para indivíduos ocupacionalmente expostos - IOE.

Pontos	Cirurgia 1 Número de cirurgias por ano	Cirurgia 2 Número de cirurgias por ano	Cirurgia 3 Número de cirurgias por ano	Cirurgia 4 Número de cirurgias por ano
1	967	365	141	1631
2	7210	623	230	7532
3	9914	757	365	7532
4	11331	1514	1045	16304
5	39635	3534	5750	97823
6	79271	-	5750	-

Obs: Nos pontos 6 das Cirurgias 2 e 4 os valores prévios obtidos de Taxa de Exposição tenderam ao valor da radiação ambiental normal, isto é, foram detectados valores muito pequenos de taxa de exposição que não fazem parte do intervalo de sensibilidade da câmara de ionização, não sendo possível estimar um número aproximado e coerente com os valores de cirurgias que poderiam ser realizados, pois este será muito alto.

Pode-se observar na Tabela 5 que o maior valor de equivalente de dose foi registrado no ponto 1 no decorrer da Cirurgia 3, como consequência, o menor número de cirurgias semelhantes (Tabela 6) que poderiam ser realizadas por ano, sem que o LMP fosse atingido, ocorreu neste ponto.

4.2 Medidas Integradas - Dosímetro Termoluminescente

As leituras dos TLD's mostraram que, em todos os pontos monitorados interiormente e na vizinhança das salas cirúrgicas, o nível de radiação não ultrapassa os de radiação natural do local (BG), exceto para o TLD nº 14 durante o mês de Agosto de 2012 para o qual o equivalente de dose resultante foi de 0,2 mSv. Porém, de acordo com informações do *Relatório de Doses* vê-se que este o valor manteve-se no limiar, já que abaixo dele as medidas eram consideradas como BG. De modo geral, o resultado já era esperado pois todos os TLD's foram colocados nas paredes, a uma distância considerável da fonte de radiação X.

5. CONCLUSÃO

Por conseguinte, as taxas de exposição à radiação ionizante à qual são submetidos os profissionais que atuam nos procedimentos médicos realizados nos centros cirúrgicos podem ser consideradas altas em alguns pontos quando relacionadas com o valor de limite máximo permissível por ano, de acordo com os valores máximos de equivalente de dose que foram obtidos.

Os maiores valores de equivalente de dose foram observados nos pontos de nº 01, para os procedimentos de aferição em tempo real, onde constantemente se encontrava a equipe médica operante. Isto ocorreu devido a proximidade destes profissionais com a fonte emissora de raios-x, evidenciando a lei do inverso do quadrado da distância.

A menor quantia de cirurgias que poderiam ser realizadas em um ano tomando por base o equivalente de dose e o LMP de 20 mSv/ano, estabelecido na legislação para indivíduos ocupacionalmente expostos, se deu no ponto 01 durante a Cirurgia 3, onde o profissional médico somente poderia realizar 141 cirurgias semelhantes aquela, isto é, sendo exposto aos mesmos níveis de radiação.

Para evitar os efeitos deletérios da exposição exacerbada recomenda-se a conscientização de todos os profissionais envolvidos, de forma a informar sobre os riscos biológicos provocados por radioindução em toda equipe envolvida e nos pacientes que realizarão aquele determinado procedimento, fazendo com que o uso desnecessário do equipamento seja evitado. Se esta não for uma medida viável recomenda-se o revezamento da equipe médica para que o mesmo profissional não fique sempre exposto a altas doses de radiação ionizante. Preconiza-se ainda o uso constante de equipamentos de proteção que atenuem à radiação incidente o importante uso de vestimentas protetoras, como avental plumbífero, protetor de tireoide, óculos plumbífero, entre outras.

Entre os êxitos conquistados com este trabalho está a sua relevância aos profissionais que são submetidos a exposição a radiação durante os procedimentos cirúrgicos, já que a real situação e valores de monitoração ambiental são informados, a fim de que se esclareça qual a escala de riscos decorrentes. A integração dos estudantes de física médica na rotina prática do especialista no setor de radiologia também foi proporcionada, promovendo a difusão do conhecimento e visando propiciar maior otimização da rotina dos procedimentos radiológicos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este projeto foi financiado pelo *Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica* (PIBIC, ID: 21506), através da concessão de bolsa de Iniciação Científica de março/2013 a julho/2013, porém já sendo desenvolvido anteriormente a esta data. Durante a sua execução, dados e referências deste projeto foram apresentados em diversos congressos enumerados abaixo.

1. FERNANDES, M. A. R., BRANCO, I. S. L.
Avaliação do Nível de Radiação Ambiental e Taxa de Exposição Ocupacional em Profissionais Expostos Durante Exames Radiológicos em Procedimentos Cirúrgicos. In: XXV Congresso de Iniciação Científica da UNESP, 2013, Barra Bonita. Anais do XXV Congresso de Iniciação Científica da UNESP - Segunda Fase, 2013.
2. FERNANDES, M. A. R., BRANCO, I. S. L.
Avaliação do Nível de Radiação Ambiental e Taxa de Exposição Ocupacional em Profissionais Expostos Durante Exames Radiológicos em Procedimentos Cirúrgicos. In: XXV Congresso de Iniciação Científica da UNESP, 2013, Botucatu. Anais do XXV Congresso de Iniciação Científica da UNESP - Primeira Fase, 2013.
3. FERNANDES, M. A. R., BRANCO, I. S. L.
Análise do levantamento radiométrico e exposição ocupacional em exames radiológicos realizados em procedimentos cirúrgicos. In: XXIV Congresso de Iniciação Científica da UNESP, 2012, Botucatu. Anais do XXIV Congresso de Iniciação Científica da UNESP, 2012.
4. FERNANDES, M. A. R., BRANCO, I. S. L., NUNES, I. P. F., LIMA, M. A. F., FERNANDES, R.M
Avaliação do Nível de Radiação em Profissionais da Saúde Expostos em Procedimentos Cirúrgicos e Radiologia com Dosímetros Termoluminescentes In: ENBM - 15º Encontro Nacional de Biomedicina, 2012, Botucatu. Anais do 15º Encontro Nacional de Biomedicina, 2012.

5. FERNANDES, M. A. R., BRANCO, I. S. L., NUNES, I. P. F., FERNANDES, R.M, LIMA, M. A. F.
Estudo da Distribuição da Taxa de Exposição Radiológica em Procedimentos Cirúrgicos In: VIII Congresso de Física Aplicada a Medicina (CONFIAM), 2012, Botucatu. Anais do VIII Congresso de Física Aplicada à Medicina, 2012.
6. BRANCO, I. S. L., FERNANDES, M. A. R., FERNANDES, R.M
Análise do Desempenho e Constância dos Parâmetros Radiométricos Avaliados nos Programas de Controle da Qualidade em Equipamentos de Radiologia Médica In: VII Congresso de Física Aplicada a Medicina (CONFIAM), 2011. Anais do VII Congresso de Física Aplicada à Medicina, 2011.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. M. **Física das Radiações**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2010. 296p.
2. CASCÓN, A. Riesgos asociados con las radiaciones ionizantes. **Revista Argentina de Cardiología**, v. 77, n. 2, p. 123-128, 2009.
3. VERNENGO, L. Ionizing radiation in medical education In the National University of Cuyo. **Revista Medica Universitaria**, v. 5, n. 3, p. 1-23, 2009.
4. FERNANDES, M. A. et al. Avaliação do Índice de Radiação Ionizante Natural e Exposição Solar na Região de Araçatuba. **Universitas - Revista do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium**, Araçatuba - SP, v. 1, p. 151-166, 2011.
5. FERNANDES, M. A. R.; KANEZAWA, J. S. Conceitos do controle de qualidade de equipamentos de raios-X para a proteção radiológica em serviços de saúde. **Universitas: Revista do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium**, v. 3, p. 169-188, 2010.
6. FERNANDES, M. A. R. et al. Study of the Variation of Radiation Dose in Function of the Radiological Techniques Used in X-Ray Diagnosis Exams. **Anais do International Nuclear Atlantic Conference - INAC**, Belo Horizonte, 2011.
7. FERNANDES, M. A. R. et al. Inter-comparative analysis of the measures instruments of radiation time and dose in dental radiology beams. In: 18th International Conference on Medical Physics. **Brazilian Journal of Medical Physics**, Porto Alegre - RS, v. 5, p. 134, 2011.
8. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Estimativas 2010: Incidência de Câncer no Brasil**. INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER - INCA. Rio de Janeiro. 2009.
9. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - CNEN. **Norma-CNEN-NN-3.01:2011. Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica**. Rio de Janeiro. (Resolução n. 27 D.O.U 06/01/2005; 114/2011 01/09/2011). www.cnen.gov.br.
10. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA. **Seção I. Estabelece o Regulamento Técnico para o Funcionamento de Serviços de Radioterapia**. Brasília. 2006. (Resolução n.20 - 02/02/2006 Publicação no DO em 06/02/2006). Também disponível em: www.anvisa.gov.br.
11. MINISTÉRIO DA SAÚDE - INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER (INCA). **Programa de Qualidade em Radioterapia. TEC DOC 1151. Aspectos Físicos da Garantia da**

- Qualidade em Radioterapia – Protocolo de Controle de Qualidade.** INCA. Rio de Janeiro. 2000. Também disponível em: www.inca.gov.br.
12. FERNANDES, M. A. R. et al. Análise Quantitativa da Implantação de Programa de Garantia da Qualidade em Equipamentos de Raios-X Instalados na Região de Araçatuba -SP. **Universitas - Revista do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium**, Araçatuba - SP, v. 1, p. 135-150, 2011.
 13. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice. **Technical Reports Series n. 457**, Vienna, 2007.
 14. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA) / ARCAL XLIX. Protocolos de Control de Calidad En Radiodiagnóstico, Vienna, 2001.
 15. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy. **Technical Reports Series No. 398**, Vienna, 2000.
 16. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS. Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy. **ICRU, Rep 50**, Bethesda, MD, 1993.
 17. SECRETARIA DE ESTADO DA SAÚDE DO ESTADO DE SÃO PAULO. Aprova Norma Técnica que dispõe sobre o uso, posse e armazenamento de fontes de radiação ionizante, no âmbito do Estado de São Paulo. **Centro de Vigilância Sanitária. Resolução SS 625. Publicada no D.O.E. Seção I - 14/12/94**, São Paulo, 1994.
 18. SECRETARIA DE ESTADO DA SAÚDE DO ESTADO DE SÃO PAULO. Detalha o Programa de Garantia de Qualidade em Radiologia Odontológica, no âmbito do Estado de São Paulo. **Centro de Vigilância Sanitária. Resolução CVS-3 de 02/06/1997**, São Paulo, 1997.
 19. SECRETARIA DE ESTADO DA SAÚDE DO ESTADO DE SÃO PAULO. Normatiza a apresentação do Levantamento Radiométrico, no âmbito do Estado de São Paulo. **Centro de Vigilância Sanitária. Resolução CVS-293 de 04/12/1997**, São Paulo, 1997.
 20. SECRETARIA DA VIGILÂNCIA SANITÁRIA (SVS) DO MINISTÉRIO DA SAÚDE. Diretrizes de Proteção Radiológica em Radiodiagnóstico Médico e Odontológico. **Portaria no. 453 de 01 de junho de 1998**, Brasília - DF, 1998.
 21. GIAROLA, R. S. **Estudo de Parâmetros Radiométricos e Legislação sobre Radioproteção em Equipamentos de Radiodiagnóstico.** Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação - Instituto de Biociências da UNESP de Botucatu. Botucatu. 2011.
 22. RABELLO, J. P. D. **Proteção Radiológica - Conceitos e Aplicações.** Trabalho de Conclusão de Curso Técnico de Nível Médio (Técnico em Radiologia). CETEA - Centro de Ensino e Tecnologia de Araçatuba. Araçatuba. 2010.

23. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA) - MINISTÉRIO DA SAÚDE. Radiodiagnóstico Médico: Desempenho de Equipamentos e Segurança. **Editora ANVISA**, Brasília - DF, p. 104, 2005.
24. FERNANDES, M. A. R.; PEREIRA, F. C.; KADRI, N. G. Analysis of the plain of 70 kVp X-ray beam using the MCNP-5C Code In: 18th International Conference on Medical Physics. **Brazilian Journal of Medical Physics**, Porto Alegre - RS, v. 5, p. 136, 2011.
25. BALL, J.; MOORE, A. D.; TURNER, S. **Essential Physics for Radiographers**. 4a. ed. Oxford: Blacwell Publishing, 2008. 408 p.
26. ATTIX, F. H. **Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry**. Madison, Wisconsin: Wiley-VCH, 2004. 607 p.
27. SCAFF, L. A. M. **Física na Radioterapia: A Base Analógica de uma Era Digital**. São Paulo: Editora Projeto Saber, 2010.
28. **NDT Education Resource Center**, 2001. Disponível em: <<http://www.ndt-ed.org/EducationResources/HighSchool/Radiography/discoveryxrays.htm>>. Acesso em: 01 nov. 2013.
29. SOARES, F. A. P.; LOPES, H. B. M. **Radiodiagnóstico - Fundamentos Físicos**. Florianópolis: Editora Insular, 2003. 88 p.
30. NOUAILHETAS, Y. **Apostila Educativa - Radiações Ionizantes e a Vida**. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/rad_ion.pdf>. Acesso em: 09 out. 2013.
31. TAUHATA, L. et al. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. Instituto de Radioproteção e Dosimetria - CNEN. Rio de Janeiro, p. 242. 2003.
32. **PASCO**. Photoelectric Effect Manual. Disponível em: <http://www.pasco.com/prodCatalog/EX/EX-5549_photoelectric-effect-experiment-850-universal/index.cfm#resourcesTab>. Acesso em: 22 out. 2013.
33. EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica**. Rio de Janeiro: Elsevier, 1979. 928 p.
34. JOHNS, H. E.; CUNNINGHAM, J. R. **The Physics of Radiology**. 3ª. ed. Springfield, Illinois: Thomas Publisher, 1974. 800 p.
35. CURRY, T. S.; DOWDEY, J. E.; MURRY, R. C. J. **Christensen's Physics of Diagnostic Radiology**. 4ª. ed. Philadelphia - PA: Lippincott Williams & Wilkins, 1990. 431 p.
36. SECRETARIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Aprova Norma Técnica que Dispõe sobre o Uso, Posse e Armazenamento de Fontes de Radiação Ionizante, no Âmbito do Estado de São Paulo**. [S.l.], p. Seção 1 p. 13-15. 1994.
37. ICRP - INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **Radiological Protection in Medicine**. Publication 105. [S.l.]. 2007.

APÊNDICE A

Plantas Baixas das Salas de Cirurgia onde foram mensuradas as Taxas de Exposição com a Câmara de Ionização.

A seguir estão apresentadas as plantas baixas (feitas experimentalmente) das salas do centro cirúrgico do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu, onde foram realizadas as medições da taxa de exposição utilizando-se a câmara de ionização da marca RADCAL, modelo 20X6-180, acoplada a um eletrômetro da mesma marca e modelo 2026C. A escala espacial aparece atribuída a cada uma das respectivas imagens



Figura 17. Sala 07 do Centro Cirúrgico (FMB), onde foi realizada a Cirurgia 01 - Escala 01:100 cm.

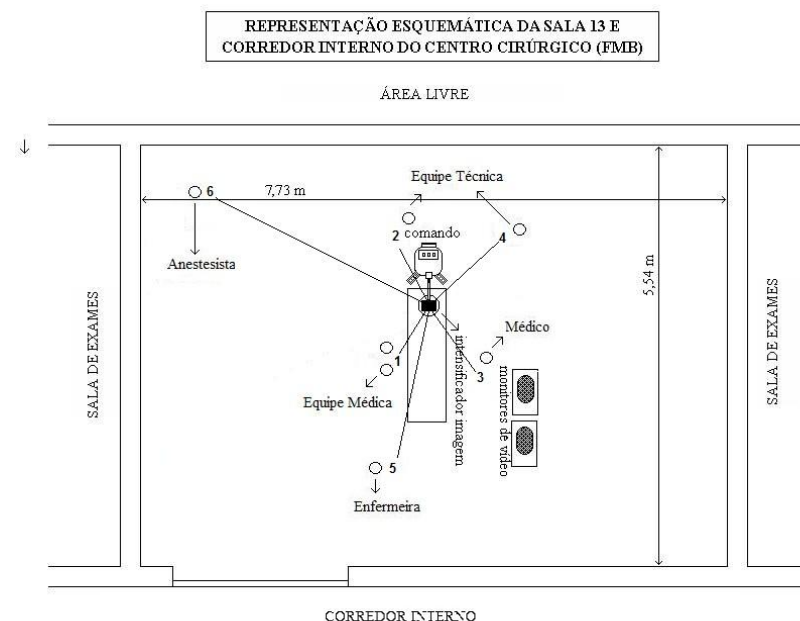


Figura 18. Sala 13 do Centro Cirúrgico (FMB), onde foi realizada a Cirurgia 02 - Escala 01:100 cm.

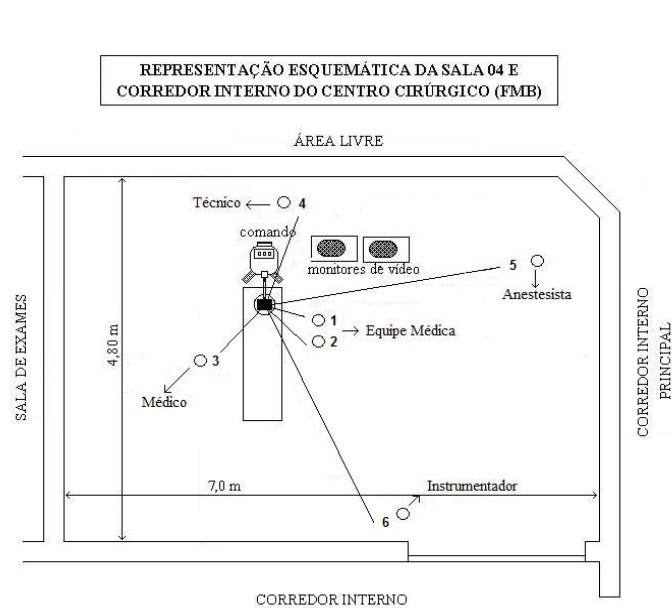


Figura 18. Sala 04 do Centro Cirúrgico (FMB), onde foi realizada a Cirurgia 03 - Escala 01:100 cm.

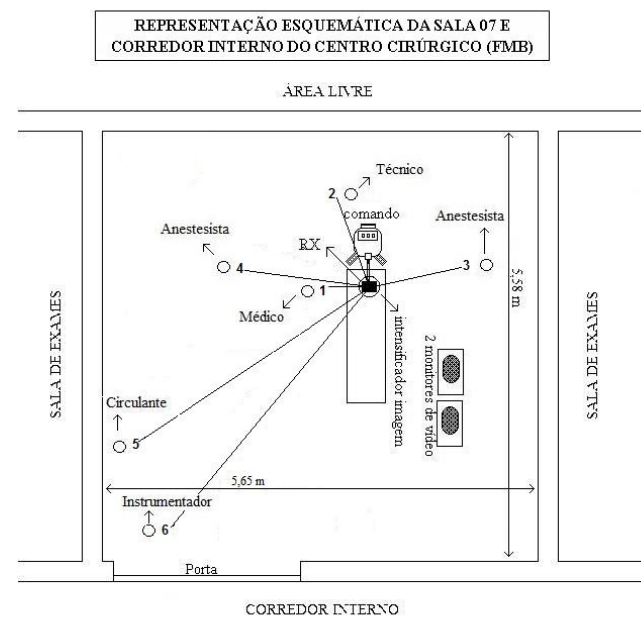


Figura 17. Sala 07 do Centro Cirúrgico (FMB), onde foi realizada a Cirurgia 04 - Escala 01:100 cm.

APÊNDICE B

Plantas Baixas das Salas de Cirurgia onde foram mensuradas as Taxas de Exposição com TLD's.

A seguir estão apresentadas as plantas baixas (feitas experimentalmente) das salas do centro cirúrgico do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu, onde foram realizadas as medições da taxa de exposição utilizando-se dosímetros termoluminescentes. A escala espacial aparece atribuída a cada uma das respectivas imagens.

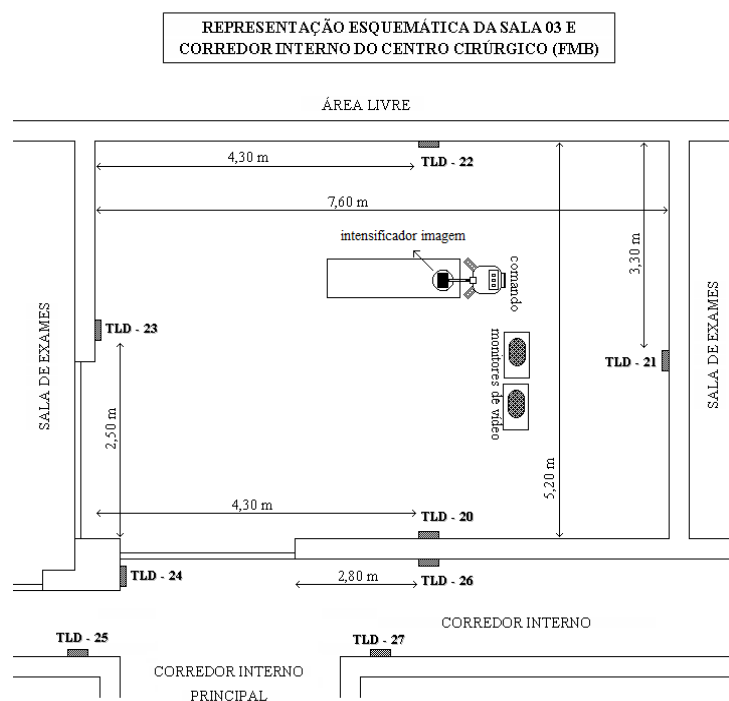


Figura 20. Sala 03 do Centro Cirúrgico (FMB) - Escala 01:100 cm

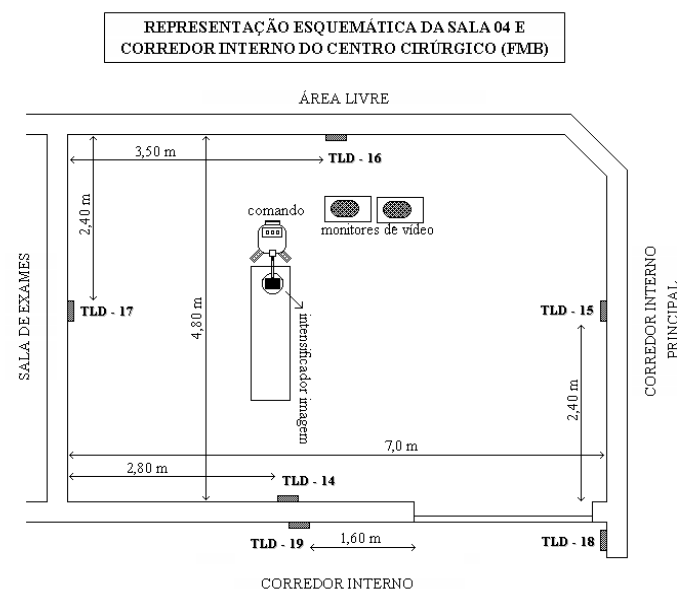


Figura 19. Sala 04 do Centro Cirúrgico (FMB) - Escala 01:100 cm

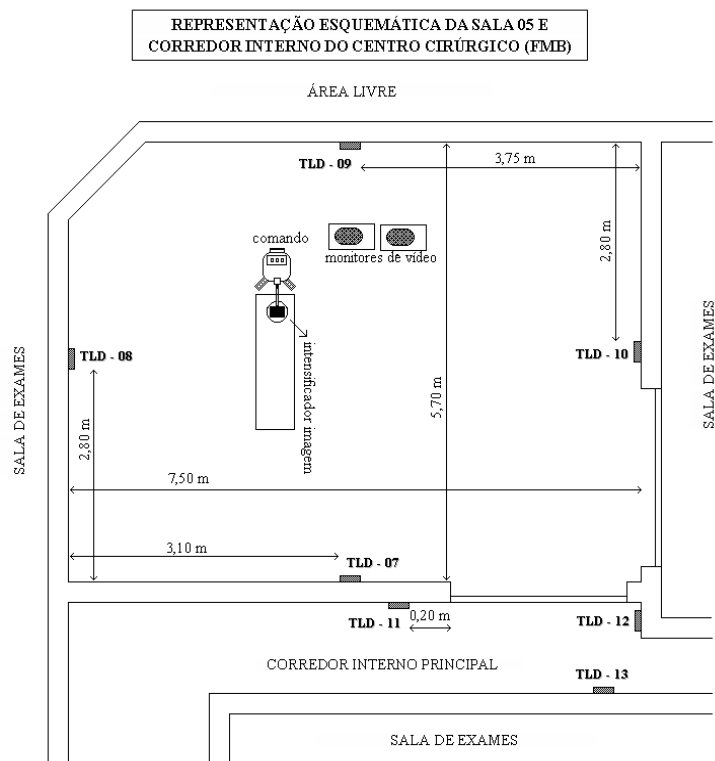


Figura 23. Sala 05 do Centro Cirúrgico (FMB) - Escala 01:100 cm

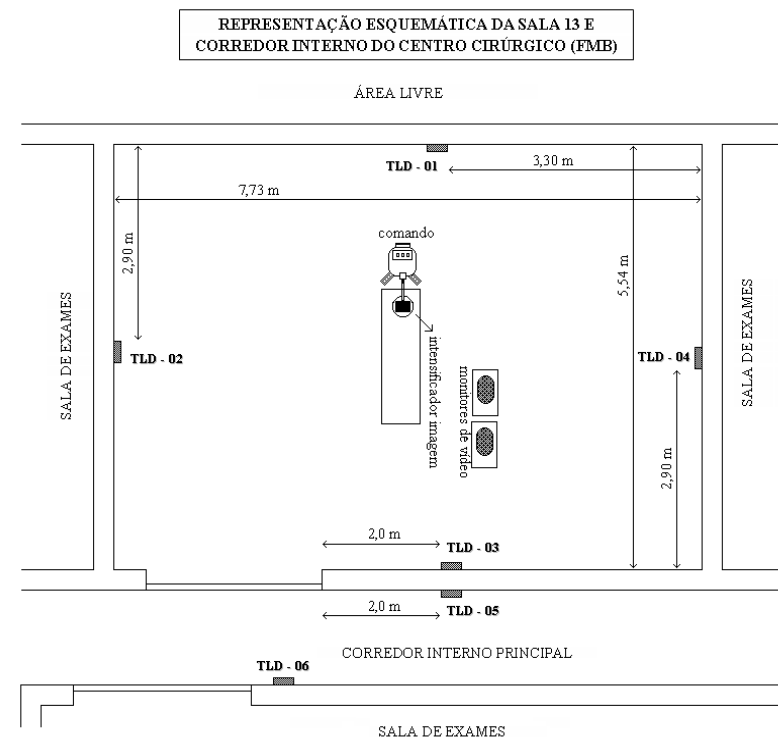


Figura 24. Sala 13 do Centro Cirúrgico (FMB) - Escala 01:100 cm

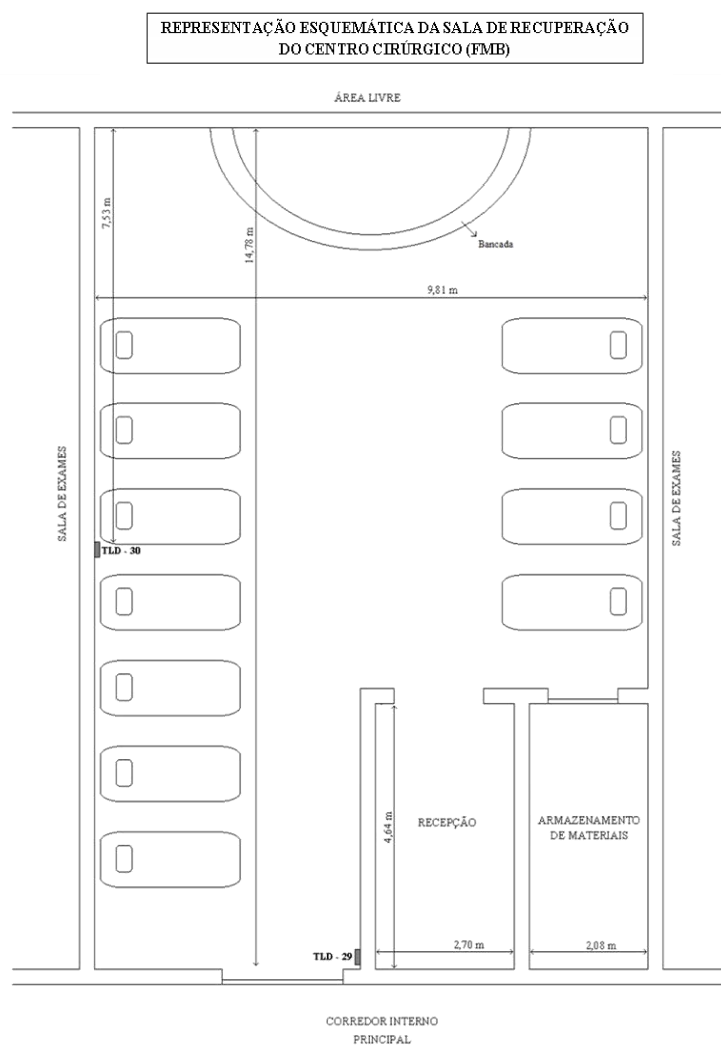


Figura 21. Sala de Recuperação do Centro Cirúrgico (FMB) - Escala 0,75:100,00 cm

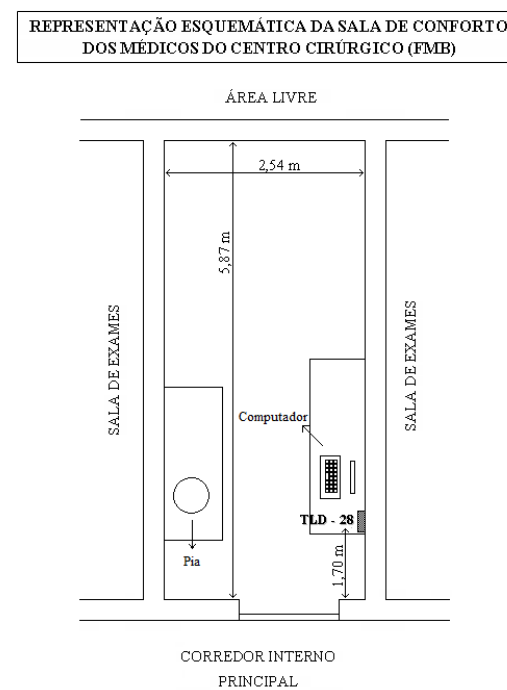


Figura 22. Sala de Conforto dos Médicos do Centro Cirúrgico (FMB) - Escala 01:100 cm

ANEXO A

Relatório de Doses dos Dosímetros Termoluminescentes



PRAD
PRO-RAD CONSULTORES EM RADIOPROTEÇÃO S/S LTDA

E428000



CNPJ: 87.389.086/0001-74 - REGISTRO CREA/RS - CNEN 104.829/75
 RUA RUI BARBOSA, 118 - EDIF. MICHALSKI TÉRREO - B. VILA JARDIM AMÉRICA - CEP 94020-510
 CACHOEIRINHA - RS - FONE / FAX: 51-3287.3500 e 51-3287.3513 - Site: www.prorad.com.br

CACHOEIRINHA, 23 DE JULHO DE 2012

UNIVERSIDADE EST PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO
 CENTRO CIRURGICO
 DISTRITO DE RUBIAO JR, S/N / CX P.102 - RUBIAO JR
 18.618-970 - BOTUCATU - SP
 A/C Sr(a) ANA CRISTINA VALENCA TRIGO

RELATORIO DE DOSES DE DOSIMETROS NO AMBIENTE DO PERIODO DE 01/06/12 A 30/06/12.
 REGISTRO DA ENTIDADE NA CNEN: 90409511033

NOMES	CODIGOS	DOSES (mSv)
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 01	E428001	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 02	E428002	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 03	E428003	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 04	E428004	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 05	E428005	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 06	E428006	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 07	E428007	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 08	E428008	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 09	E428009	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 10	E428010	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 11	E428011	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 12	E428012	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 13	E428013	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 14	E428014	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 15	E428015	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 16	E428016	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 17	E428017	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 18	E428018	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 19	E428019	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 20	E428020	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 21	E428021	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 22	E428022	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 23	E428023	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 24	E428024	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 25	E428025	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 26	E428026	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 27	E428027	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 28	E428028	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 29	E428029	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 30	E428030	BG

Total de dosímetros: 30 D

Soma das Doses: 0.0 LDS

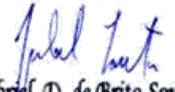
Controle: 7 X 71 O PRAD 90409511033

Data de retorno dos dosímetros: 16/07/12

BG => Dose menor que 0,2 mSv

ND => Dosimetro nao devolvido

DD => Dose Desconhecida


Gabriel D. de Brito Souto
 Responsável Técnico Substituto
 Eng.º Civil e Doutor em Engenharia
 CREA-RS 114450



CNPJ: 87.389.086/0001-74 - REGISTRO CREA/RS - CNEN 104.829/75
 RUA RUI BARBOSA, 118 - EDIF. MICHALSKI TERREO - B. VILA JARDIM AMERICA - CEP 94820-510
 CACHOEIRINHA - RS - FONE / FAX: 51-3287.3500 e 51-3287.3513 - Site: www.prorad.com.br

E428000



CACHOEIRINHA, 16 DE AGOSTO DE 2012

UNIVERSIDADE EST PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO
 CENTRO CIRURGICO
 DISTRITO DE RUBIAO JR. S/N / CX P.102 - RUBIAO JR
 18.618-970 - BOTUCATU - SP
 A/C Sr(a) ANA CRISTINA VALENCA TRIGO

RELATORIO DE DOSES DE DOSIMETROS NO AMBIENTE DO PERIODO DE 01/07/12 A 31/07/12.
REGISTRO DA ENTIDADE NA CNEN: 90409511033

NOMES	CODIGOS	DOSES (mSv)
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 01	E428001	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 02	E428002	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 03	E428003	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 04	E428004	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 05	E428005	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 06	E428006	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 07	E428007	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 08	E428008	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 09	E428009	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 10	E428010	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 11	E428011	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 12	E428012	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 13	E428013	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 14	E428014	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 15	E428015	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 16	E428016	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 17	E428017	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 18	E428018	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 19	E428019	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 20	E428020	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 21	E428021	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 22	E428022	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 23	E428023	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 24	E428024	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 25	E428025	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 26	E428026	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 27	E428027	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 28	E428028	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 29	E428029	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 30	E428030	BG

Total de dosímetros: 30 D
 Soma das Doses: 0.0 LDS
 Controle: 8 X 67 0 PRAD 90409511033
 Data de retorno dos dosímetros: 13/08/12

BG => Dose menor que 0.2 mSv
 ND => Dosimetro nao devolvido
 DD => Dose Desconhecida

Sergio Luiz Lena Souto
 Responsável Técnico
 Eng.º Eletricista e de Seg. do Trabalho
 CREA-RS 003364-0



PRO-RAD CONSULTORES EM RADIOPROTEÇÃO S/S LTDA

E428000



CNPJ: 07.389.088/0001-74 - REGISTRO CREA/RS - CNEN 104.829/75
 RUA RUI BARBOSA, 118 - EDIF. MICHALSKI TERREO - B. VILA JARDIM AMERICA - CEP 94920-510
 CACHOEIRINHA - RS - FONE / FAX: 51-3287.3500 e 51-3287.3513 - Site: www.prorad.com.br

CACHOEIRINHA, 26 DE SETEMBRO DE 2012

UNIVERSIDADE EST PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO
CENTRO CIRURGICO

DISTRITO DE RUBIAO JR, S/N / CX P.102 - RUBIAO JR
 18.618-970 - BOTUCATU - SP
 A/C Sr(a) ANA CRISTINA VALENCA TRIGO

RELATORIO DE DOSES DE DOSIMETROS NO AMBIENTE DO PERIODO DE 01/08/12 A 31/08/12.
 REGISTRO DA ENTIDADE NA CNEN: 90409511033

NOMES	CODIGOS	DOSE (mSv)
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 01	E428001	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 02	E428002	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 03	E428003	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 04	E428004	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 05	E428005	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 06	E428006	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 07	E428007	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 08	E428008	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 09	E428009	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 10	E428010	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 11	E428011	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 12	E428012	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 13	E428013	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 14	E428014	0.2
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 15	E428015	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 16	E428016	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 17	E428017	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 18	E428018	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 19	E428019	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 20	E428020	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 21	E428021	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 22	E428022	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 23	E428023	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 24	E428024	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 25	E428025	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 26	E428026	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 27	E428027	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 28	E428028	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 29	E428029	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 30	E428030	BG

Total de dosímetros: 30 D
 Soma das Doses: 0.2 IMPL
 Controle: 3 X 0 1 PRAD 90409511033
 Data de retorno dos dosímetros: 14/09/12

BG => Dose menor que 0.2 mSv
 ND => Dosimetro nao devolvido
 DD => Dose Desconhecida

Gabriel D. de Brito Souto
 Responsável Técnico Substituto
 Eng.º Civil e Doutor em Engenharia
 CREA-RS 114450



CNPJ: 87.389.086/0001-74 - REGISTRO CREA/RS - CNEN 104.829/75
 RUA RUI BARBOSA, 118 - EDIF. MICHALSKI TÉRREO - B. VILA JARDIM AMÉRICA - CEP 94020-510
 CACHOEIRINHA - RS - FONE / FAX: 51-3287.3500 e 51-3287.3513 - Site: www.prorad.com.br

E428000



CACHOEIRINHA, 23 DE JULHO DE 2012

UNIVERSIDADE EST PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO
 CENTRO CIRURGICO
 DISTRITO DE RUBIAO JR, S/N / CX P.102 - RUBIAO JR
 18.618-970 - BOTUCATU - SP
 A/C Sr(a) ANA CRISTINA VALENCA TRIGO

RELATORIO DE DOSES DE DOSIMETROS NO AMBIENTE DO PERIODO DE 01/06/12 A 30/06/12.
REGISTRO DA ENTIDADE NA CNEN: 90409511033

NOMES	CODIGOS	DOSES (mSv)
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 01	E428001	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 02	E428002	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 03	E428003	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 04	E428004	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 05	E428005	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 06	E428006	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 07	E428007	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 08	E428008	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 09	E428009	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 10	E428010	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 11	E428011	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 12	E428012	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 13	E428013	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 14	E428014	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 15	E428015	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 16	E428016	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 17	E428017	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 18	E428018	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 19	E428019	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 20	E428020	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 21	E428021	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 22	E428022	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 23	E428023	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 24	E428024	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 25	E428025	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 26	E428026	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 27	E428027	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 28	E428028	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 29	E428029	BG
DOSIMETRO CENTRO CIRURGICO 30	E428030	BG

Total de dosímetros: 30 D
 Soma das Doses: 0.0 LDS
 Controle: 7 X 71 0 PRAD 90409511033
 Data de retorno dos dosímetros: 16/07/12

BG => Dose menor que 0,2 mSv
 ND => Dosimetro nao devolvido
 DD => Dose Desconhecida

Gabriel D. de Brito Souto
 Responsável Técnico Substituto
 Eng.º Civil e Doutor em Engenharia
 CREA-RS 114450