



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

CÂMPUS DE BOTUCATU - INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS

MARIANA AKEMI IDE

Análise do Plano de Radioproteção em Radioterapia

BOTUCATU

2008

Mariana Akemi Ide

Análise do Plano de Radioproteção em Radioterapia

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.

Supervisor: Fernando Ribeiro Gomes
Orientador: Gilberto M. Otta
Co-orientador: Marco Antonio Rodrigues Fernandes

Botucatu

2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CAMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: SELMA MARIA DE JESUS

Ide, Mariana Akemi.

Análise do plano de radioproteção em radioterapia / Mariana Akemi Ide. -
Botucatu [s.n], 2008.

Trabalho de conclusão (bacharelado – Física médica) – Universidade
Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Botucatu, 2008

Orientador: Gilberto M. Otta

Co-Orientador: Marco Antonio Rodrigues Fernandes

1. Radiologia médica 2. Radioterapia 3. Física médica 4. Proteção
radiológica

Palavras-chave: Plano de radioproteção; Radioterapia; Segurança.

À minha família e meus mestres,
pelo depósito de paciência, amor ou dinheiro.

Agradecimentos

Existem pessoas em nossas vidas que nos deixam felizes e nos tornam melhores pelo simples fato de terem cruzado o nosso caminho. Algumas percorrem ao nosso lado, participam da nossa caminhada, mas outras apenas vemos entre um passo e outro.

Início meus agradecimentos lembrando as pessoas mais importantes da minha vida e que não estão mais presentes, meus avôs Sebastião e Durvalina e meus “jiichan” Tsuguie e Takeo, pela lição de vida e superação. Agradeço aos meus pais, Nelson e Maria do Carmo pelas broncas e elogios, pela confiança e desconfiança, pelo amor incondicional! Agradeço a todos meus tios e primos, mas em especial à minha segunda mãe, Dina. Agradeço à minha “melhor” irmã, Miyuki, pelo melhor cunhado e o melhor presente, nossa Maria Luisa. Agradeço a Deus por proporcionar uma família tão especial e a chance de conquistar mais uma irmã, Kátia Suemi Tanimoto.

Agradeço aos amigos da fase “pré-unespiana”, nogueirenses e holambrenses que cresceram, formaram família ou estão pelo mundo deixando muita saudade. Agradeço pelos amigos que, como eu, ainda não amadureceram, mas estão tentando. Agradeço especialmente Natália Machado e Daniel Eijsink. Agradeço aos meus professores e diretores por todo conhecimento e também exemplo de realização.

Agradeço incessantemente à II Física Médica, pelos almoços, pelos cafés, pelos estudos, pelas festas, pelas cervejas, pelas conversas, pelos abraços, pelas ligações e pelos sorrisos e por sempre abrirem suas repúblicas. Agradeço todos meus veteranos, principalmente ao Infra. Agradeço ao Disgraça e Proxeneta por um ano maravilhoso. Agradeço principalmente ao Montito, Tana e Dila, e suas famílias maravilhosas. Agradeço à RT e à CB, todos seus moradores e à nossa amizade. Agradeço a todas as “meninas-canelas-roxas” que amam futebol. Agradeço ao IBEC e à Atlético Geral, pelo amadurecimento e oportunidade de conhecer pessoas maravilhosas. Agradeço meus “bixos” e suas serventias. Agradeço à “Casa dos Caras” e toda essa turma, pelo melhor som e conversa. Agradeço Tosko por tudo! Tudo mesmo. Agradeço às partidas de truco e tranca. Agradeço à minha melhor amiga, Zebrinha, pelo estágio e abrigo. Agradeço a Melinha por toda bagunça, dentro e fora de casa, e por toda companhia.

Agradeço ao doutor Dirceu Blanco do Hospital Universitário de Londrina. Agradeço a toda equipe da Clínica ULTRAMED – Londrina. Agradeço ao professor Fernando Ribeiro Gomes e sua paciência com minhas incertezas. Agradeço ao professor Marco Antonio Rodrigues Fernandes por seu carinho e esforço para a disponibilidade.

Agradeço a todos que participaram desta fase de conquistas e muita aprendizagem, ressaltando a gratidão pelos muitos amigos que fiz e pretendo manter pelo resto de minha vida. Agradeço a todos que possibilitaram o andamento deste trabalho e que colaboraram na sua conclusão.

Obrigada! E que tudo de bom que fizeram por mim, volte em dobro! Meu sincero muito obrigada!

“- Adeus, disse a raposa. Eis o meu segredo.
É muito simples: só se vê bem com o coração. O essencial é invisível para os olhos.
- O essencial é invisível para os olhos,
repetiu o príncipezinho, a fim de se lembrar.
- Foi o tempo que perdeste com tua rosa que fez tua rosa tão importante.
- Foi o tempo que eu perdi com a minha rosa...
repetiu o príncipezinho, a fim de se lembrar.
- Os homens esqueceram essa verdade, disse a raposa.
Mas tu não a deves esquecer.
Tu te tornas eternamente responsável por aquilo que cativas.
Tu és responsável pela rosa...
- Eu sou responsável pela minha rosa...
repetiu o príncipezinho, a fim de se lembrar.”

O Pequeno Príncipe - Antoine de Saint-Exupéry.

RESUMO

As radiações ionizantes são usadas hoje em dia em diversos setores, como a agricultura, a indústria e a medicina. As principais especialidades da medicina que utilizam radiações ionizantes são o radiodiagnóstico, a medicina nuclear e a radioterapia. A radioterapia é uma modalidade terapêutica que representa um recurso bem estabelecido para o tratamento de doenças malignas ou não. No entanto, o uso inadvertido das radiações ionizantes pode produzir efeitos deletérios que resultarão em seqüelas que comprometem o bem estar das pessoas envolvidas. A análise da proteção radiológica ressalta a importância de se evitar exposições inadequadas visando à defesa da saúde dos pacientes, dos profissionais envolvidos e do público em geral. Os princípios básicos da radioproteção são Justificação, Otimização e Limitação da dose individual. Os serviços de radioterapia são regulamentados de acordo com Normas Técnicas específicas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), a qual durante as inspeções para emissão e renovação da autorização de operação exige a apresentação de um Plano de Radioproteção, documento este que requer grande demanda de tempo, e tem gerado muita discussão entre os profissionais da física médica, face as dificuldades encontradas na sua elaboração. Após análise dos Planos de Radioproteção de alguns serviços de radioterapia, e como sugestão com intuito de orientar os responsáveis pela elaboração destes planos, e principalmente os iniciantes na carreira de física da radioterapia, esse trabalho apresenta um modelo de Plano de Radioproteção que está em conformidade ao que preceitua as Normas Técnicas da CNEN e pode facilmente ser adequado a realidade dos serviços.

Palavras-chave: Plano de Radioproteção; Radioterapia; Segurança.

ABSTRACT

Ionizing radiation is used nowadays in various sectors such as agriculture, industry and medicine. The main specialties of medicine which use radiation are the diagnostic radiology, nuclear medicine and radiotherapy. Radiotherapy is a therapeutic modality that is a well established feature for the treatment of malignant disease or not. However, the inadvertent use of ionizing radiation can produce deleterious effects that result in sequels that compromise the welfare of the people involved. The analysis of radiological protection emphasizes the importance of avoiding inappropriate exhibitions aimed at protecting the health of patients, the professionals involved and the general public. The basic principles of radioprotection are justification, optimization and restriction for individual dosage. The departments of radiotherapy are regulated in accordance with specific technical standards of the National Commission of Nuclear Energy (CNEN), which during the inspection for issue and renewal of the authorization of operation requires the submission of a radioprotection plan, this document that requires great demand of time, and has generated much debate among professionals in medical physics, given the difficulties encountered in their preparation. After examining the radioprotection plan of some radiotherapy services, as suggested in order to guide those responsible for drawing up these plans, especially beginners in the career of the physics of radiation, this paper presents a model plan that is in line radioprotection it requires the Technical Standards of CNEN and can easily be the reality of appropriate services.

Key-words: Radioprotection plan; Radiotherapy; Security.

Lista de figuras

Figura 1: Porcentagem de óbitos na população brasileira	24
Figura 2: Porcentagem de óbitos por câncer na população brasileira/ faixa etária	24
Figura 3: Porcentagem de óbitos na população brasileira/ tipo de tumor.	25
Figura 4: Porcentagem de óbitos na população brasileira/ tipo de tumor/ sexo	25
Figura 5: Incidência de câncer na população brasileira/ tipo de tumor/ sexo	26
Figura 6: Incidência de câncer na população brasileira/ tipo de tumor/ região	26

Lista de tabelas

Tabela 1: Alcance das partículas α e β no ar, no tecido humano e no alumínio	16
Tabela 2: Camada semi-redutora no tecido humano e no chumbo para os raios X ou gama	17
Tabela 3: Exemplos de radiofármacos e suas aplicações	18
Tabela 4: Densidade e número atômico de alguns materiais	19
Tabela 5: Característica dos radioisótopos usados na teleisotopoterapia .	19
Tabela 6: Fatores de qualidade para diferentes tipos de radiação	28
Tabela 7: Materiais para blindagem	32

Sumário

RESUMO	
ABSTRACT	
Lista de figuras	
Lista de tabelas	
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO.....	15
2.1 Radiações.....	15
2.1.1 Aplicações das Radiações.....	17
2.1.2 Aplicações das Radiações na Medicina.....	17
2.1.3 Efeitos Biológicos da Radiação.....	20
2.2 Radioterapia.....	22
2.2.1 História da Radioterapia.....	22
2.2.2 Câncer no Brasil.....	23
2.3 Conceitos de Proteção Radiológica.....	27
2.3.1 Unidades de Radiação.....	27
2.3.2 Princípios Básicos de Radioproteção.....	28
2.3.3 Fatores de Redução.....	30
2.4 Detectores de Radiação.....	33
2.4.1 Câmara de ionização.....	33
2.4.2 Contador Geiger-Müller.....	33
2.4.3 Detectores por Cintilação.....	34
2.4.4 Dosímetros.....	35
2.5 Legislação e Normalização.....	35
2.5.1 Normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear.....	36
2.5.2 Documento de Orientação.....	37
2.5.3 Normas da Vigilância Sanitária.....	37
2.6 Acidentes em Radioterapia.....	38
3 OBJETIVOS.....	45
4 ELABORAÇÃO DO PLANO DE RADIOPROTEÇÃO.....	46
5 DISCUSSÕES.....	77
6 CONCLUSÕES.....	78

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
------------------------------------	----

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (WHO), em 2007 o câncer foi responsável pela morte de aproximadamente 7,9 milhões de pessoas no mundo (cerca de 13% dos óbitos), sendo estimado que em 2030 haverá 12 milhões de mortes [33]. Entre as modalidades terapêuticas, a radioterapia representa um recurso bem estabelecido para o tratamento do câncer.

A radioterapia é uma modalidade terapêutica que se baseia na destruição do tumor pela absorção da energia de radiação incidente. Na maioria dos casos esta dose é aplicada fracionadamente, num certo período de tempo. Os conceitos envolvidos na destruição do tumor pela radiação ainda dependem de estudos. A maior probabilidade de eliminação das células anormais ocorre em geral quanto maior a quantidade de radiação. Esta radiação não deve ultrapassar um limite superior, que é dado pela tolerância das células e tecidos normais do volume irradiado, evitando atingir o estágio onde seja impossível a recuperação funcional e morfológica do tecido [19, 21].

Os serviços de radioterapia atualmente compreendem duas especialidades. A teleterapia com o uso de radiação emitida por bombas de cobalto (teleisotopoteraia), aceleradores lineares (megavoltagem) e equipamentos convencionais de raios X (quilovoltagem). E a segunda especialidade seria a braquiterapia com o uso de radiação a curta distância ou com implantação de fontes de radiação de baixa ou alta dose no paciente. Esta aplicação pode ser externa, intracavitária ou intersticial, podendo nas duas últimas ser temporário ou permanente. Um tipo especial dentro da braquiterapia seria a betaterapia usando partículas beta. Uma das vantagens da braquiterapia é a possibilidade de irradiar os tecidos vizinhos normais com dose mínima e o tumor com dose alta [19, 21, 27, 28].

A exposição sistemática a radiação ionizante pode causar danos que não são totalmente conhecidos. A premissa fundamental da radioproteção é a justificação, que limita o uso da radiação ionizante somente a situações em que haja um saldo positivo para a sociedade [3, 20].

Uma vez que não há modelos precisos para analisar este risco, devem-se considerar a posição mais prudente de manter os níveis de exposição “tão baixos quanto razoavelmente exequíveis”. Este princípio é conhecido como ALARA (As Low As Reasonable Achievable). Isto significa que sempre devemos questionar as doses acima do nível de registro e não ter como meta níveis de exposição mensal abaixo dos limites permitidos e considerados seguros. Desta forma, possibilitar uma investigação de procedimentos de cada trabalhador ocupacionalmente exposto à radiação ionizante, tal que este se submeta a menor exposição possível durante a sua jornada de trabalho [3].

2 REVISÃO

2.1 Radiações

As radiações podem ser definidas quando um átomo instável torna-se estável com emissão de parte de sua massa (partículas), de pulsos de energia ou de ambos (raios) [9].

A seguir a definição de alguns dos tipos mais freqüentes de radiação.

A partícula alfa (α) possui dois prótons e dois nêutrons. Portanto possuem carga positiva e massa muito maior que dos elétrons. Seu poder de penetração é muito pequeno, sua trajetória em meio material é retilínea e só é danosa ao organismo humano se ingerida ou inalada [3, 19, 21, 22, 28].

A partícula beta (β) é um elétron emitido por um núcleo radioativo, com pequeno poder de penetração, porém mais penetrante que partículas alfa. Para blindagem podemos utilizar plástico ou alumínio. O risco para a saúde é pequeno quando a fonte está fora do corpo, sendo considerável para fontes internas ao organismo humano [3, 19, 21, 22, 28].

Tabela 1: Alcance das partículas α e β no ar, no tecido humano e no alumínio [21].

Energia (MeV)		Alcance (cm)	
Partículas alfa	Ar	Tecido Humano	Alumínio
1,00	0,55	$0,33 \times 10^{-2}$	$0,32 \times 10^{-3}$
2,00	1,04	$0,63 \times 10^{-2}$	$0,61 \times 10^{-3}$
3,00	1,67	$1,00 \times 10^{-2}$	$0,98 \times 10^{-3}$
4,00	2,58	$1,55 \times 10^{-2}$	$0,50 \times 10^{-3}$
5,00	3,50	$2,10 \times 10^{-2}$	$2,06 \times 10^{-3}$
Partículas beta	Ar	Tecido Humano	Alumínio
0,01	0,23	$0,27 \times 10^{-3}$	
0,10	12,00	$1,51 \times 10^{-2}$	$4,30 \times 10^{-3}$
0,50	150,00	0,18	$5,90 \times 10^{-2}$
1,00	420,00	0,50	0,15
2,00	840,00	1,00	0,34
3,00	1260,00	1,50	0,56

Após a emissão de uma partícula, o núcleo radioativo pode permanecer “excitado” e emitir raios gama (γ). Estes raios são ondas eletromagnéticas desprovidas de carga e massa. Os raios gama (fótons) têm alto poder de penetração e são deletérios para o organismo humano, mesmo a fonte estando fora do corpo [3, 19, 21, 22, 28].

Os raios X são também ondas eletromagnéticas com grande poder de penetração, que podem ter origem na eletrosfera (raios X característicos) ou no freamento de partículas carregadas no campo eletromagnético do núcleo atômico ou dos elétrons (raios X de freamento). Portanto com as mesmas características dos raios gama, diferindo apenas quanto à origem, visto que os raios gama se originam dentro do núcleo do átomo e os raios X têm origem fora do núcleo atômico [3, 19, 21, 22, 28].

Tabela 2: Camada semi-redutora no tecido humano e no chumbo para os raios X ou gama [21].

Energia (MeV)	Camada Semi-redutora (cm)	
	Raios X ou gama	Tecido humano
0,01	0,13	$4,50 \times 10^{-4}$
0,05	3,24	$0,80 \times 10^{-2}$
0,10	4,15	$1,10 \times 10^{-2}$
0,50	7,23	0,38
1,00	9,91	0,86
5,00	23,10	1,44

2.1.1 Aplicações das Radiações

Logo após a descoberta dos raios X por Wilhelm Conrad Röntgen, em 1895, os cientistas perceberam que esses raios poderiam ter grandes aplicações práticas. Nos 15 anos que se seguiram, os médicos trabalharam ativamente com os físicos no exame de corpos humanos. As primeiras aplicações estão relacionadas às fraturas de ossos. Os médicos aprenderam a diagnosticar fazendo uso da radiografia [3, 8, 21].

Hoje em dia, os raios X são usados principalmente na indústria, na agricultura e na Medicina.

Na Medicina, as aplicações são feitas num campo genericamente designado radiologia, que por sua vez compreende a medicina nuclear, a radiologia diagnóstica e a radioterapia.

2.1.2 Aplicações das Radiações na Medicina

A medicina nuclear aplica materiais radioativos e técnicas de Física nuclear na diagnose, no tratamento e no estudo de doenças. Ela compreende uma parte clínica, diretamente relacionada com o paciente, e uma parte biomédica, onde pesquisas básicas sobre doenças e ação de drogas são desenvolvidas [3, 21].

Tabela 3: Exemplos de radiofármacos e suas aplicações [21].

Isótopo	Forma Química	Uso
$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$	Pertecnetato ($\text{Na}^{99}\text{Tc}^{\text{m}}\text{O}_4$)	Estudos dinâmicos cardíacos e cerebral, Imagens de cérebro, placenta e tireóide
$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$	Soro de albumina humana	Estudo dinâmico cardíaco Imagens da placenta e efusão do pericárdio
$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$	Microesferas de albumina Macroagregados de albumina	Imagens dos pulmões
$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$	Colóide de enxofre	Imagens de medula óssea, fígado e baço
$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$	Fosfatos	Imagens do osso
^{95}Se	Selenometionina	Imagens do pâncreas
^{13}N	Nitrogênio gasoso	Estudos de perfusão e ventilação pulmonares
^{13}N	Amônia ($^{13}\text{NH}_4$)	Deteção de enfartes cardíacos
^{111}In	$^{111}\text{InCl}_3$, albumina, globulina	Imagens de cérebro e tecidos moles
^{123}I	Na^{123}I	Imagens de tireóide
^{11}C	^{11}CO	Imagens da placenta
^{11}C	$^{11}\text{CO}_2$	Estudo dinâmico dos shunts cardíacos e dos pulmões
^{201}Tl	Cloreto	Imagem do miocárdio

A radiologia diagnóstica consiste na utilização de um feixe de raios X para a produção de imagens em várias tonalidades de cinza num filme radiográfico ou numa tela fluoroscópica, pode-se verificar as estruturas anatômicas do paciente e descobrir a existência de qualquer anormalidade. Essas imagens podem ser tanto estáticas como dinâmicas [3, 21].

Tabela 4: Densidade e número atômico de alguns materiais [21].

Material	Densidade (g/cm³)	Z médio
Gordura	0,91	5,92
Tecido mole, músculo, água	1,00	7,42
Osso	1,85	13,85
BaSO ₄	1,20	23,00

A radioterapia utiliza a radiação no tratamento de tumores, na maior parte malignos, e se baseia na transferência de energia ao meio onde ocorre a interação [3,21].

Tabela 5: Característica dos radioisótopos usados na teleisotopoteraia [21].

Elemento	Energia (MeV)	Meia-vida (anos)
⁶⁰ Co	1,17	5,30
	1,33	
¹³⁷ Cs	0,66	30,00
²²⁶ Ra	0,18 a 2,20	1620,00

Pode-se estabelecer as principais diferenças na radiologia quanto ao tipo de informação e tipo de fonte radioativa. O uso de raios X está mais relacionado com a anatomia do que com a fisiologia. O uso de radioisótopos na diagnose está mais relacionado com o metabolismo e a fisiologia do que com a própria anatomia. Na radioterapia usam-se fontes

seladas nas quais o material radioativo não entra em contato direto com o paciente ou com as pessoas que as manuseiam. E na terapia na medicina nuclear materiais radioativos não selados são ingeridos ou injetados a fim de ser incorporados às regiões do corpo humano a ser tratadas [3,21].

2.1.3 Efeitos Biológicos da Radiação

Em 1896, quatro meses após a descoberta dos raios X por Röntgen, o médico J. Daniels, da Universidade de Vanderbilt, notificou à comunidade científica o primeiro efeito biológico da radiação: a queda de cabelo de um de seus colegas, cuja radiologia de crânio havia sido tirada [21, 22].

Desde então houve uma grande evolução nos tratamentos utilizando radiação. Entretanto este progresso deixou de ser único foco de pesquisa e divide importância com os possíveis efeitos danosos que o uso de raios X na terapia pode produzir [12].

Os efeitos biológicos podem se manifestar a curto e a longo prazo.

2.1.3.1 Efeitos biológicos a curto prazo

Geralmente os efeitos a curto prazo ou agudos estão associados a altas doses de radiação, acima de 1 Sv, recebidas por grandes áreas do corpo, num curto período de tempo [2, 21, 22].

Dependendo da dose de radiação recebida e da condição do indivíduo exposto, pode ser provocada a chamada síndrome aguda de radiação ou o resultado final ser letal [2, 21, 22].

A síndrome aguda de radiação afeta principalmente três sistemas de órgãos que são o sistema hematopoético – para doses equivalentes abaixo de 5 Sv; o sistema gastrointestinal - para doses equivalentes entre 5 e 20 Sv e o sistema nervoso central - para doses equivalentes acima de 50 Sv [2, 21, 22].

2.1.3.2 Efeitos biológicos a longo prazo

Esses efeitos podem surgir de altas doses num curto intervalo de tempo, com recuperação aparente, podendo ainda vir a sentir os efeitos muitos anos mais tarde; e de pequenas doses, mas crônicas num longo intervalo de tempo, são os casos de pessoas ocupacionalmente expostas, como radiologistas e pesquisadores com radiação [2, 21, 22].

Os efeitos tardios podem ser genéticos ou somáticos.

Os efeitos genéticos consistem de mutações nas células reprodutoras que afetam gerações futuras. Quando a radiação atinge células reprodutoras ou seus precursores, pode ocorrer uma alteração na informação genética codificada, provocando uma mutação genética. Pode haver ainda grande probabilidade de transferir a informação genética alterada por muitas gerações [2, 21, 22].

Os efeitos somáticos são aqueles que afetam diretamente o indivíduo exposto à radiação e não são transmitidos a gerações futuras. Esses efeitos dependem dos seguintes fatores:

- a) Tipo de radiação;
- b) Profundidade atingida, que está relacionada à energia da radiação e ao tipo de tecido irradiado;
- c) Área ou volume do corpo exposto;
- d) Dose total recebida;
- e) Tempo de irradiação.

Entre os efeitos somáticos no homem, os mais importantes são:

- a) Aumento na incidência de câncer;
- b) Anormalidade no desenvolvimento do embrião;
- c) Indução de catarata;
- d) Redução da vida média [2, 21, 22].

2.2 Radioterapia

2.2.1 História da Radioterapia

O conhecimento de três grandes descobertas é fundamental para se obter um breve e adequado resumo da história da Radioterapia.

O primeiro acontecimento científico em 8 de novembro de 1895, no laboratório do Instituto de Física da Universidade Julius Maximilians de Würzburg, na Bavária, por Wilhelm Conrad Röntgen. Ao trabalhar com um tubo de raios catódicos observou uma fluorescência brilhante, vinda de um ponto da bancada de trabalho, que provinha de um écran de cristais de platinocianeto de bário que estava acidentalmente no local. Notou quatro particularidades do fenômeno. A intensidade de luminosidade no écran se mantinha mesmo quando se colocava folhas de papel, madeira e borracha. Porém, objetos mais densos, como cobre, prata e chumbo, barravam parte da irradiação. A progressão dos raios se dava em linha reta. A intensidade da fluorescência era inversamente proporcional ao quadrado da distancia. E por último, os raios não sofriam interferência de campos elétricos ou magnéticos. Assim se deu a descoberta dos raios X [10, 13, 27].

A segunda descoberta está intimamente relacionada com a primeira e também é muito importante para a Radioterapia. Em 1º de maio de 1896, Antonie Henry Becquerel pesquisava a relação existente entre a fluorescência de certos minerais, depois de expostos à luz, e sua capacidade de obscurecer filmes fotográficos. Descobriu acidentalmente que independentes de prévia exposição à luz certos sais de urânio podiam impressionar uma chapa fotográfica. Podiam ainda provocar ionização dos gases e penetrar a matéria, da mesma forma que os raios descobertos por Röntgen. Descobriu, portanto, a radioatividade natural [10, 27].

E por fim, em 26 de dezembro de 1898, o casal Curie anunciou a provável existência do elemento rádio. Porém, como não se sabia o peso atômico do novo elemento só após quase quatro anos Maria Curie conseguiu isolar um décimo de grama da substância pura, determinando o peso atômico. O rádio é muito raro e difícil obtê-lo no estado puro [10, 27].

2.2.2 Câncer no Brasil

A relação do Brasil com o combate ao câncer teve início em 1934, com a fundação da Associação Paulista de Combate ao Câncer, pelo Dr. Antonio Prudente. Em 1946, a formação da Sociedade Brasileira de Cancerologia. E em 1953, o Dr. Antonio Prudente fundou o Hospital Antonio Cândido de Camargo. O Dr. Prudente teve apoio dedicado e eficiente de sua esposa, a Sra Carmem Annes Dias Prudente no trabalho de combate e tratamento do câncer [16, 27].

No Brasil, em 1995, a frequência relativa dos óbitos por câncer foi de 12,4%. Considerando que a proporção de óbitos por câncer em países desenvolvidos se aproxima de 20% de todas as causas de morte. E nos países menos desenvolvidos a proporção se aproxima de 5%, podemos encaixar o Brasil em um padrão intermediário entre as taxas verificadas em países de melhor ou pior nível socioeconômico [16, 27, 32].

O desenvolvimento socioeconômico e o aumento da expectativa de vida são fatores determinantes na incidência de doenças malignas. Desta forma, considera-se inevitável o aumento gradativo do índice de casos de câncer no país.

Algumas regiões do país não possuem métodos de diagnóstico básicos para câncer, tornando imprecisos os dados sobre a incidência e evolução de tumores malignos na população brasileira. Desta forma, as informações contidas em atestados de óbitos são utilizadas para se estimar as taxas de incidência e mortalidade [16, 27].

Ressaltando ainda que o Ministério da Saúde estime uma cobertura global de informações documentadas de menos de 75% do território nacional, sendo próxima de 100% nos estados do Sul e Sudeste, e próxima de 50% nos outros estados do país [16, 27].

Os dados a seguir, devido aos motivos já mencionados, devem ser considerados com cautela.

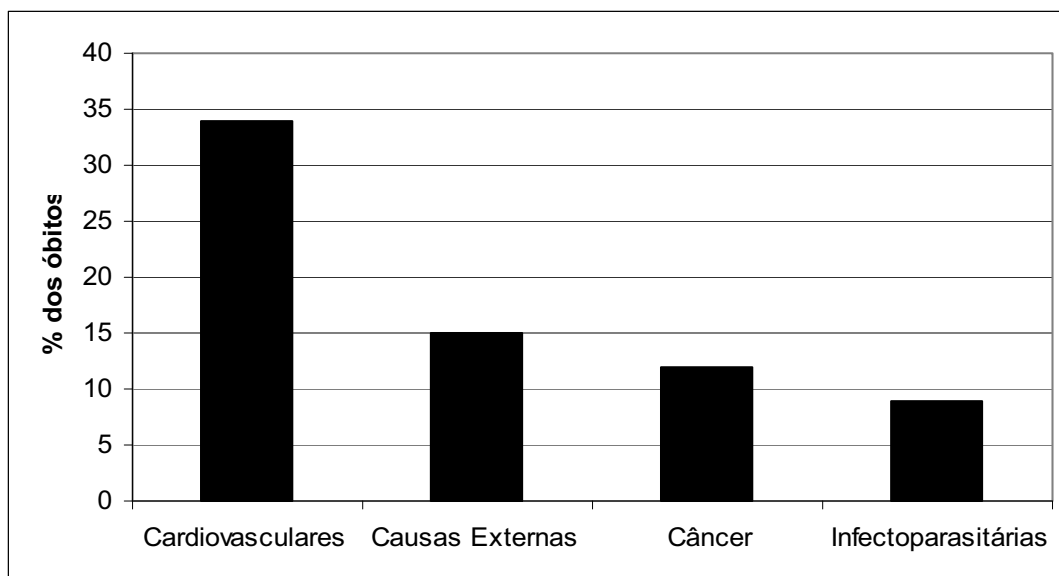


Figura 1: Porcentagem de óbitos na população brasileira – 1989 [27].

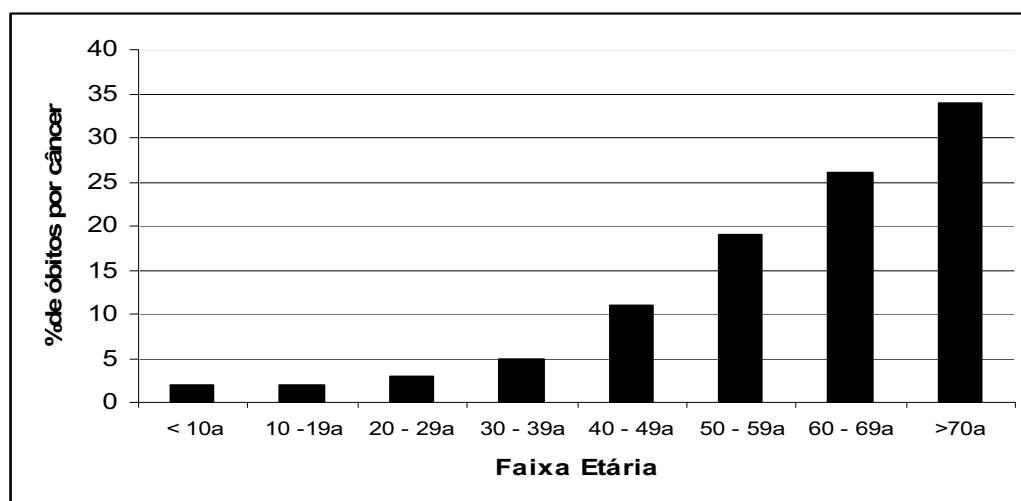


Figura 2: Porcentagem de óbitos por câncer na população brasileira/ faixa etária – 1996 [27].

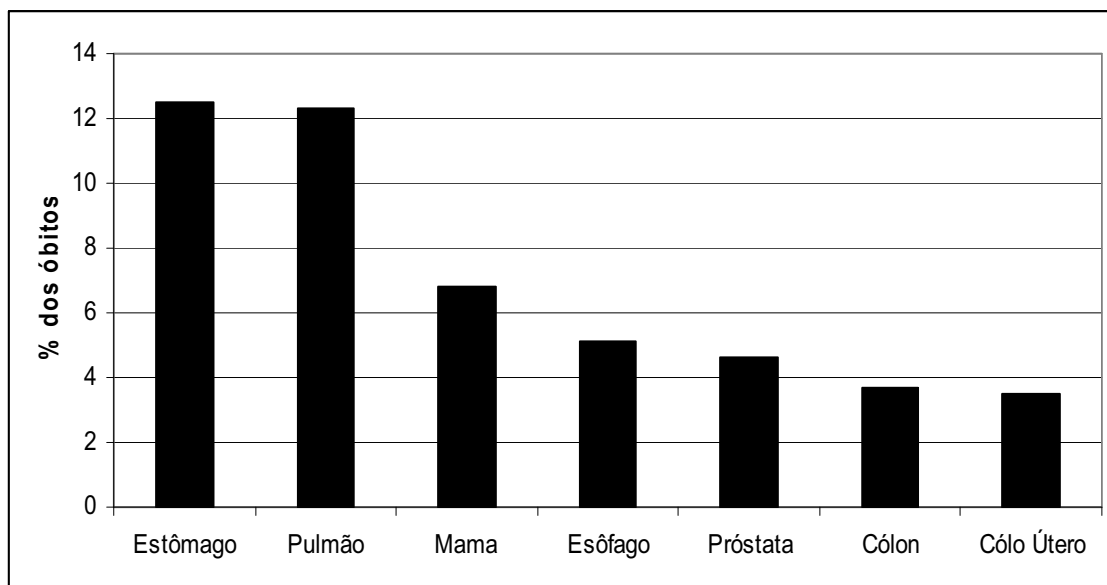


Figura 3: Porcentagem de óbitos na população brasileira/ tipo de tumor – 1996 [27].

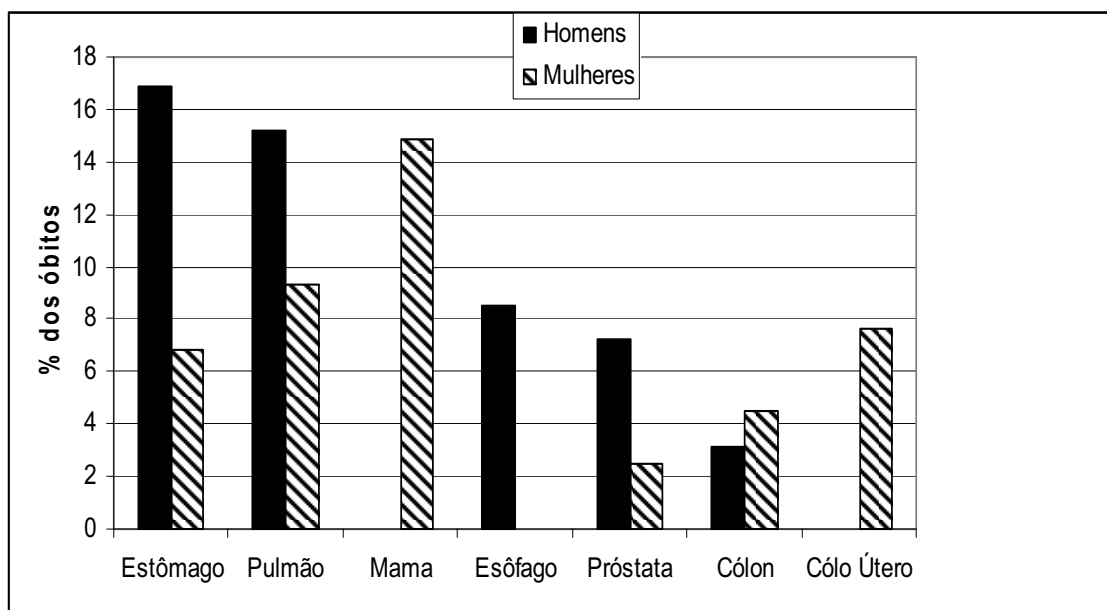


Figura 4: Porcentagem de óbitos na população brasileira/ tipo de tumor/ sexo – 1996 [27].

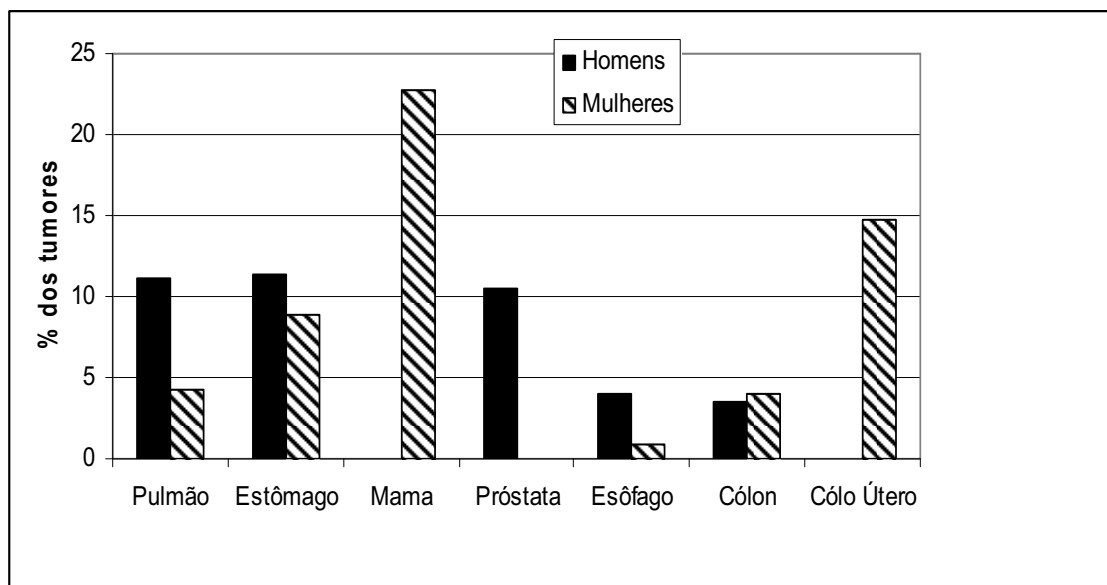


Figura 5: Incidência de câncer na população brasileira/ tipo de tumor/ sexo – 1996 [27].

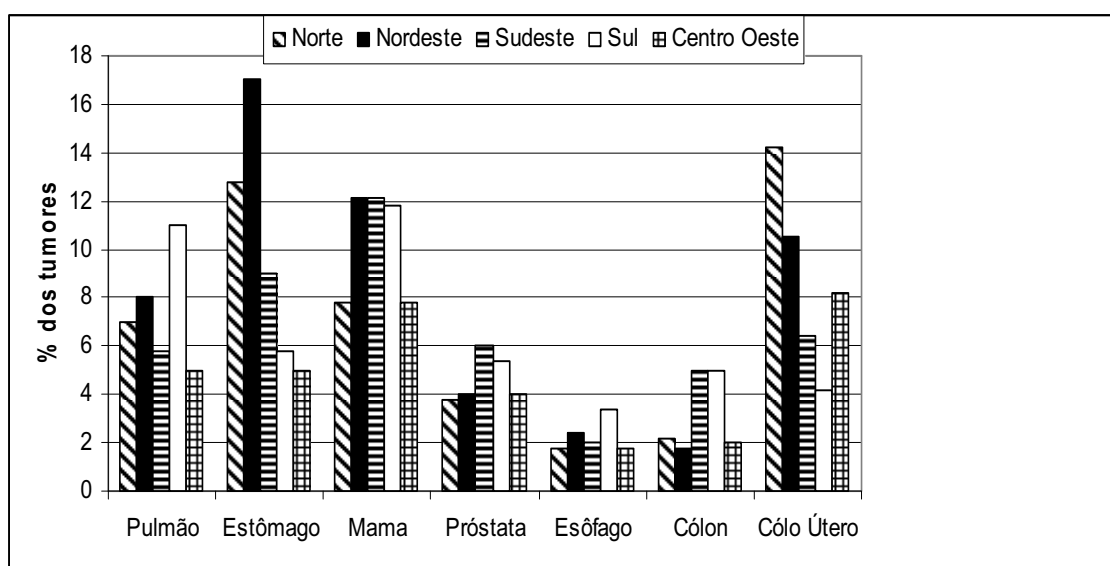


Figura 6: Incidência de câncer na população brasileira/ tipo de tumor/ região – 1996 [27].

2.3 Conceitos de Proteção Radiológica

2.3.1 Unidades de Radiação

Os organismos internacionais como a “Internacional Commission on Radiological Protection” (ICRP) e a “Internacional Commission on Radiation Units and Measurements” (ICRU), são responsáveis por estabelecer os limites máximos permissíveis de dose para os trabalhadores com radiação e o público em geral e definir as grandezas de medida e suas unidades [27, 28, 29, 33].

A dose de radiação recebida por um indivíduo pode ser avaliada por meio das seguintes grandezas: exposição, dose absorvida e dose equivalente [27, 28, 29, 33].

2.3.1.1 Exposição (X)

Grandeza dada pelo quociente $\Delta Q / \Delta m$ onde ΔQ é a soma das cargas elétricas de todos os íons de um mesmo sinal, produzidos no ar, quando todos os elétrons e pósitrons liberados pelos fótons da radiação X ou gama, num elemento de volume de ar cuja massa é Δm , são completamente freados no ar. Portanto o meio de interação é o ar e a unidade de exposição é o roentgen (R) [27, 28, 29, 33].

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

2.3.1.2 Dose absorvida (D)

Energia E absorvida de radiação pela massa m do absorvedor. A unidade oficial recomendada pela ICRU de 1950 a 1975 foi o rad (radiation absorbed dose) [27, 28, 29, 33].

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g} = 10^{-2} \text{ J/kg}$$

Em 1975, a ICRU adotou para a unidade de dose absorvida o gray (Gy) no S.I.U.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

A relação entre o Gy e o rad é dada por:

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad.}$$

2.3.1.3 Dose equivalente (H)

Dose equivalente H definida como produto da dose absorvida D pelo fator de qualidade Q e pelos fatores de modificação N. Segundo o fator de qualidade, a radiação que produz maior número de ionização no tecido, por unidade de comprimento, causa maior dano biológico. A ICRP fixou o valor de N em 1 (um), até adquirir uma forma mais simples de obtê-lo [27, 28, 29, 33].

A medida da taxa de dose equivalente tem por definição a medida da dose equivalente por unidade de tempo, por exemplo, Sv/h.

Tabela 6: Fatores de qualidade para diferentes tipos de radiação [21].

Tipo de radiação	Fator de qualidade Q
raios X, raios gama e elétrons	1
nêutrons e prótons	10
partículas alfa e de carga superior a 1	20

A unidade adotada até 1975, foi o rem (roentgen equivalent man).

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ rad} \times Q \times N$$

Agora, a ICRU adota o sievert (Sv) no Sistema Internacional.

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ gray} \times Q \times N$$

A relação entre o Sv e o rem é :

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem.}$$

2.3.2 Princípios Básicos de Radioproteção

Os princípios básicos da radioproteção são Justificação, Otimização e Limitação da dose individual.

Qualquer atividade envolvendo radiação deve ser justificada em relação a outras alternativas e produzir um benefício líquido positivo para a sociedade. A otimização do uso das radiações está estabelecida no princípio ALARA (As Low As Reasonably Achievable), que institui que todas as exposições devam ser mantidas tão baixas quanto razoavelmente exeqüíveis. Os limites de dose individual devem ser mantidos abaixo do limiar de detrimento à saúde [4, 6].

Os organismos internacionais de proteção radiológica apresentam regras específicas que devem ser rigidamente seguidas pelos serviços que utilizam radiação ionizante, tais como:

- I) Nenhum trabalhador ocupacionalmente exposto deverá receber por ano, em condições de rotina, doses equivalentes, resultantes de irradiação externa, superiores aos limites apresentados a seguir:
- a) Corpo inteiro - 20 mSv (vinte milisievert);
 - b) Cristalino - 150 mSv (cento e cinqüenta milisievert);
 - c) Extremidades (mãos, pés, antebraços e tornozelos) - 500 mSv (quinhentos milisievert).

Portanto o limite de dose para trabalhadores é 100 mSv (cem milisievert) em 5 anos, podendo chegar a 50 mSv (cinqüenta milisievert) em um único ano (vinte mSv na média). A dose efetiva acumulada pelo trabalhador em 50 anos não deverá exceder 1 Sv (um sievert) [4, 6, 17].

II) O indivíduo do público não deverá receber por ano doses equivalentes, resultantes de irradiação externa, superiores a 1 mSv (um milisievert), para o corpo inteiro [4, 6, 17].

III) Menores de 18 (dezoito) anos não deverão ser trabalhadores ocupacionalmente expostos em serviços de saúde, mesmo que estagiários ou aprendizes. Estudantes e estagiários em serviços de saúde que empregam radiação ionizante estarão sujeitos aos limites para trabalhadores ocupacionalmente expostos [4, 6, 17].

IV) Gestantes não poderão receber dose superior a 20 mSv (vinte milisievert), na parte inferior do tronco durante o período de gravidez, após a confirmação [4, 6, 17].

V) Trabalhadores ocupacionalmente expostos deverão usar sempre dosímetros individuais de leitura indireta, trocados mensalmente. O uso de dosímetro individual poderá ser dispensado quando a dose provável for inferior a um décimo dos limites estabelecidos, desde que devidamente comprovado [4, 6, 17].

VI) Os dosímetros individuais deverão possibilitar medidas de dose equivalente para corpo inteiro, cristalino e extremidades, quando for o caso. O dosímetro padrão e os dosímetros individuais, durante a ausência do usuário, deverão ser mantidos fora do ambiente de trabalho com radiação [4, 6, 17].

2.3.3 Fatores de Redução

As radiações externas podem ser controladas operando-se com três parâmetros: tempo, distância e blindagem ou barreira.

2.3.3.1 Tempo

Sabe-se que a dose acumulada por uma pessoa que trabalha numa área exposta a uma certa taxa de dose pode ser controlada pela limitação do tempo. O tempo de permanência em áreas de trabalho nas quais existem materiais radioativos ou fontes de radiação deve ser o mínimo necessário, sabendo que a dose acumulada é diretamente proporcional ao tempo em que uma pessoa permanece na área. Quanto menor o tempo de exposição, menores serão os efeitos causados pela radiação. O treinamento do operador e a otimização de sua habilidade torna-se o recurso mais eficaz de redução do tempo de execução de uma tarefa [2, 4, 5].

2.3.3.2 Distância

Como já foi citado neste trabalho, considerando uma fonte puntiforme de radiação emitindo em todas as direções, o fluxo, é inversamente proporcional ao quadrado dessa distância. Assim, por exemplo, dobrando-se a distância entre a fonte e o detector, reduz-se a taxa de dose a um quarto de seu valor inicial. Neste caso, considerando como parâmetro a distância, o recurso mais eficaz é manter-se longe da fonte de radiações ionizantes [2, 4, 5].

2.3.3.3 Blindagem

Os trabalhadores ocupacionalmente expostos devem estar aptos para executar tarefas da rotina garantindo a segurança contra exposições desnecessárias ou acidentais. Nesses procedimentos os fatores tempo e distância em relação às fontes radioativas estão implícitos na capacitação do profissional e considerando que este não comete enganos, posiciona-se em lugar adequado e com a postura correta. Portanto, além dos fatores tempo e distância e da utilização de colimadores, aventais, labirintos e outros artefatos, é necessário introduzir o terceiro fator de segurança, a blindagem. A escolha do material de blindagem depende do tipo de radiação, atividade da fonte e da taxa de dose que é aceitável fora do material de blindagem [2, 4, 5].

Deve-se levar em consideração a localização dos geradores de radiação, as direções possíveis de incidência do feixe, o tempo de ocupação da máquina ou fonte, a carga de trabalho, os locais e áreas circunvizinhas e a planta da instalação para efetuar-se o cálculo e a construção de uma blindagem para uma instalação. Após o cálculo da barreira primária, deve-se calcular a barreira secundária devido ao espalhamento da radiação nas paredes, nos equipamentos e no ar [2, 4, 5].

Depois da escolha dos materiais para construção da instalação e da blindagem, calcula-se as espessuras e escolhe-se as geometrias. Lembrando dos princípios básicos de radioproteção para otimizar a redução do nível de

radiação aos estabelecidos por normas específicas e gerais de estabelecimentos de radioterapia [2, 4, 5].

Tabela 7: Materiais para blindagem [20].

Tipos de Radiação	Materiais para Blindagem
Gama, X	Usa-se chumbo, a espessura dependerá da atividade da fonte e da energia da radiação emitida. Também são usados concreto, ferro, urânio e outros materiais de alta densidade.
Beta	Normalmente usa-se 1 cm de lucite ou outro material plástico seguido de uma folha de chumbo de 1 cm de espessura, que é usado para blindar a radiação de freiamento (bremsstrahlung). Para fontes de baixa atividade pode ser dispensável o uso desta folha de chumbo.

2.4 Detectores de Radiação

A quantidade e o tipo de radioatividade, administrada aos pacientes ou presente no ambiente onde o trabalho é exercido, devem ser monitorados para manter a segurança de pacientes, equipe de trabalho e demais pessoas que circulem na área ou em suas imediações como, acompanhantes ou visitantes [2, 3, 20].

Na proteção radiológica os detectores são instrumentos fundamentais que indicam níveis de radiação naturais e artificiais. Considerando escapes e dispersão de material radioativo e sendo utilizados também, para verificação de doses acima dos limites permitidos nos locais de trabalho ou no meio ambiente [2, 3, 20].

Considerando o mecanismo utilizado para converter energia radioativa em elétrica, os principais tipos de detectores de radiação são a câmara de ionização, o contador Geiger-Müller e os cintiladores.

2.4.1 Câmara de ionização

Dosímetros de bolso são exemplos deste tipo de detector. A câmara de ionização é uma câmara cheia de gás com eletrodos positivo e negativo, dispostos em locais opostos ou numa geometria cilíndrica concêntrica [2, 3, 20].

Na ausência de radiação não deve haver fluxo de corrente entre os eletrodos. Para isso uma diferença de potencial é criada. A interação da radiação com o gás da câmara cria íons positivos e negativos que se movem para os eletrodos, produzindo corrente elétrica. É indicada para medir a corrente total de múltiplos eventos durante um certo período [2, 3, 20].

2.4.2 Contador Geiger-Müller

Os contadores Geiger são utilizados como medidores de superfície e para monitoração de área. Uma alta voltagem é aplicada entre os eletrodos,

causando uma avalanche de ionizações secundárias, de tal forma que todo o gás é ionizado. Esta voltagem é maior que na câmara de ionização [2, 3, 20].

Eventos individualizados são contados, mas não é possível identificar suas energias. Outra restrição do contador Geiger é o tempo morto, isto é, o tempo para que o gás totalmente ionizado recupere-se e possa contar novos eventos [2, 3, 20].

2.4.3 Detectores por Cintilação

A câmara de ionização e o detector Geiger são pouco sensíveis para detectar radiação X e gama devido à baixa probabilidade de interação destas radiações eletromagnéticas com o gás [2, 3, 20].

O detector por cintilação é eficiente na detecção de ondas eletromagnéticas. Geralmente usa-se como cintilador o cristal de iodeto de sódio ativado com tálio (NaI [Tl]). Neste tipo de detector, os raios X e gama incidem no cristal de iodeto de sódio cedendo energia aos elétrons de valência, que migram para a banda de condução, ficando instáveis. Ao retornar para a banda de valência estes elétrons liberam energia na forma de fótons de luz. O tálio é utilizado para tornar mais eficiente o processo de cintilação. Os fótons de luz são multiplicados e deslocam elétrons do fotocátodo, os quais serão acelerados e aumentados por fotodiodos, sendo finalmente coletados por anodos. O número de elétrons gerados no fotocátodo é proporcional ao número de fótons luminosos do cristal e à corrente elétrica gerada pela fotomultiplicadora. Isto permite que energias diferentes provenientes de diferentes radionuclídeos possam ser distinguidas entre si pela análise da altura de cada pulso, característica única de cada elemento químico [2, 3, 20].

2.4.4 Dosímetros

Os dosímetros são os instrumentos utilizados para avaliação quantitativa da dose de radiação recebida pelo corpo. São também chamados de dosímetros integradores. As principais características que um bom dosímetro deve apresentar são:

- a resposta deve ser independente da energia da radiação incidente,
- deve cobrir um grande intervalo de dose,
- deve medir todos os tipos de radiação ionizante e
- deve ser pequeno, leve, de fácil manuseio, confortável para o uso e econômico quanto à fabricação [2, 3, 20].

Até hoje não existe um dosímetro que preencha todos esses requisitos de forma ideal, mas apenas parcialmente. Os principais tipos de dosímetros são: fotográfico, termoluminescente (TLD) e câmara de ionização de bolso (caneta dosimétrica) [2, 3, 20].

2.5 Legislação e Normalização

No Brasil, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) é uma autarquia federal criada em 10 de outubro de 1956 e vinculada ao Ministério de Ciência e Tecnologia. Responsável pelo planejamento, orientação, supervisão e fiscalização, estabelece normas e regulamentos em radioproteção e licença, fiscaliza e controla a atividade nuclear no Brasil. A CNEN desenvolve ainda pesquisas na utilização de técnicas nucleares em benefício da sociedade. A missão da CNEN: "Garantir o uso seguro e pacífico da energia nuclear, desenvolver e disponibilizar tecnologias nuclear e correlatas, visando o bem estar da população", traduz a sua preocupação com a segurança e o desenvolvimento do setor, orientando sua atuação pelas expectativas da sociedade, beneficiária dos serviços e produtos [3, 11].

A área de Radioproteção e Segurança Nuclear da CNEN atua no licenciamento de instalações nucleares e radiativas; na fiscalização de atividades relacionadas à extração e à manipulação de matérias-primas e minerais de interesse para a área nuclear; no estabelecimento de normas e regulamentos; na fiscalização das condições de proteção radiológica de trabalhadores nas instalações nucleares e radiativas; no atendimento a solicitações de auxílio, denúncias e emergências envolvendo fontes de radiações ionizantes; no desenvolvimento de estudos e na prestação de serviços em metrologia das radiações ionizantes [3, 11].

Desde o controle do material nuclear e radioativo até o transporte, o tratamento e o armazenamento de rejeitos radioativos são igualmente regulamentados por normas técnicas e procedimentos de controle de responsabilidade da CNEN [23, 24, 26].

Visando a segurança dos trabalhadores que lidam com radiações ionizantes, da população em geral e do meio ambiente pode-se definir um breve resumo das normas envolvidas no Plano de Radioproteção.

2.5.1 Normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear

CNEN-NE-3.01 Diretrizes Básicas de Radioproteção - Essa norma estabelece as diretrizes básicas de radioproteção para pessoas físicas ou jurídicas envolvidas na produção de radiação ionizante e os limites, princípios, obrigações e controles para prevenir possíveis danos causados ao homem e ao meio ambiente [4].

CNEN-NE-3.02 Serviços de Radioproteção - Estabelece os requisitos relativos à implantação e funcionamento de serviços de radioproteção. A direção da instalação radiativa autoriza um órgão ou entidade realizar e controlar as ações que visam estabelecer as condutas de radioproteção, baseadas nas normas, de modo a manter a segurança no uso das radiações [5].

CNEN-NE-3.06 Requisitos de Radioproteção e Segurança para os Serviços de Radioterapia. Essa norma estabelece requisitos de radioproteção e segurança de pessoas e meio ambiente quando radiações ionizantes são utilizadas para terapia, especialmente no uso de fontes seladas [6].

CNEN-NE-6.02 Licenciamento de Instalações Radiativas. Estabelece os procedimentos relativos ao Licenciamento de Instalações Radiativas de acordo com a competência atribuída pela lei 6.189 de 16 de dezembro de 1974 [7].

2.5.2 Documento de Orientação

TEC DOC – 1151 – Aspectos físicos da garantia da qualidade em radioterapia – Protocolo de controle da qualidade. Esse documento é uma tradução de um dos produtos do Projeto ARCAL (Acordo Regional de Cooperação da América Latina) da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA/IAEA) e consiste num protocolo para controle da qualidade dos equipamentos usados em radioterapia [18].

2.5.3 Normas da Vigilância Sanitária

RDC 20 - Estabelece o Regulamento Técnico para o funcionamento de serviços de radioterapia, visando a defesa da saúde dos pacientes, dos profissionais envolvidos e do público em geral, de 02 de fevereiro de 2006 [1].

SS 625 - Aprova Norma Técnica que dispõe sobre o uso, posse e armazenamento de fontes de radiação ionizante, no âmbito do Estado de São Paulo [25].

2.6 Acidentes em Radioterapia

Um Plano de Radioproteção deve contemplar a implantação de um Programa de Garantia de Qualidade a ser executado no serviço de radioterapia, o qual quando não obedecido pode originar acidentes que repercutem em malefícios dos envolvidos nos procedimentos radioterápicos [14, 15, 30, 31].

Conceito de ACIDENTE em radioterapia: Evento não desejado relacionado a erros de operação, falhas de equipamentos ou outros infortúnios que podem ter conseqüências danosas ao público em geral, trabalhadores e pacientes [30, 31].

Considera-se grandes erros da dose na irradiação de pacientes sob radioterapia àqueles que resultem em diferença na dose pretendida superior a 10% [30, 31].

A experiência e a literatura mostram que os acidentes em radioterapia estão relacionados a vários fatores, dentre os quais podemos citar:

- 1) falha na calibração do equipamento emissor de radiação;
- 2) falta de testes de comissionamento ou testes de aceito da máquina;
- 3) pane nos sistemas elétricos ou mecânicos não detectados pelos profissionais;
- 4) erro na configuração dos sistemas de planejamento;
- 5) falta de treinamento ou treinamento insuficiente aos profissionais do serviço;
- 6) falta de verificação independente dos cálculos ou mesmo erros nos cálculos aritméticos;
- 7) utilização errada ou má interpretação dos dados da máquina;
- 8) falha na interpretação das instruções escritas (ficha técnica);
- 9) uso de fatores inadequados em cálculo;
- 10) sobreposição de campos de tratamento;

- 11) procedimentos errados ou inadequados dos profissionais;
- 12) ausência de supervisão geral;
- 13) uso incorreto do fator de decaimento da fonte radioativa (caso das unidades de cobaltoterapia) [30, 31].

Os acidentes em radioterapia podem e devem ser evitados, bastando que os profissionais responsáveis pelo serviço implantem e de fato realizem um Programa de Garantia de Qualidade (PGQ) baseado e norteado pelos protocolos, tais como o TEC-DOC 1151 da AIEA, traduzido pelos profissionais do Ministério da Saúde e Instituto Nacional de Câncer (INCa) e adaptado das sugestões da Associação Americana de Física Médica (AAPM TG-40). Deve-se seguir os critérios e periodicidades da análise dos testes de controle de qualidade (segurança, mecânicos, elétricos e dosimétricos) dos equipamentos emissores de radiação, que se estendem aos próprios cálculos de planejamentos, sejam eles feitos manualmente ou via computador [14, 15, 30, 31].

O Programa de Garantia de Qualidade (PGQ) objetiva também evitar erros sistemáticos, diminuir a frequência e tamanho de erros aleatórios, desta forma, o PGQ deve ser planejado para detectar desvios pequenos e prevenir a ocorrência de grandes erros [14, 15, 30, 31].

Sugestões para evitar os erros em radioterapia:

a) Considerar redundância. Medidas e cálculos importantes relativos a cada paciente devem ser verificados por uma outra pessoa que não tenha realizado os cálculos. Uma revisão independente de uma pessoa de fora do grupo, freqüentemente, revela erros sistemáticos;

b) Não confiar integralmente em cálculos feitos por computador. Deve-se verificar todo plano de tratamento computadorizado por alguma verificação manual, como um ponto único, fácil de ser calculado (exemplos dos acidentes entre os anos de 1985 a 1987 no Canadá e EUA envolvendo acelerador linear Therac 25);

- c) Verificar a dose acumulada para os pacientes semanalmente;
- d) Não permitir ao pessoal técnico acesso aos sistemas de segurança ou de intertravamento do equipamento irradiador;
- e) Realizar os procedimentos de calibração do feixe de radiação periodicamente e obrigatoriamente logo após qualquer manutenção, reparo ou parada inesperada do equipamento emissor de radiação (procurando evitar o ocorrido nos acidentes: 1988 – Royal Devon and Exeter Hospital; 2001 – Bialystok Oncology Center; 1990 – Universidade Clínica de Saragoza) [30, 31].

Especificamente a aceleradores clínicos de elétrons, abaixo possíveis causas de acidentes relativos à falta ou inadequação do PGQ:

A. Testes de Segurança:

1 - Luzes de Advertência: Falha não verificada de funcionamento.

Conseqüência: entrada inadequada de pessoa na sala de tratamento durante a exposição do feixe.

Atitudes para corrigir a falha: verificar diariamente o funcionamento correto das luzes de advertência e providenciar o conserto imediato em caso de falha das mesmas. O técnico deve ficar sempre atendo aos monitores de TV de dentro da sala.

2 - Dispositivos de emergência: Não testado o interruptor da porta - apresentando defeito.

Conseqüência: entrada inadequada de pessoa na sala de tratamento durante a exposição do feixe, tendo esta recebido dose de radiação.

Atitudes para corrigir a falha: verificar diariamente o funcionamento correto do interruptor da porta da sala de tratamento e providenciar o conserto imediato em caso de falha do mesmo. O técnico deve ficar sempre atendo aos monitores de TV de dentro da sala.

3- Controle dos códigos dos aplicadores: Não verificado o funcionamento do mecanismo do aplicador. Aplicador errado e o feixe habilitado.

Conseqüência: uso inadequado do aplicador, com área do campo e dose de radiação indesejável.

Atitudes para corrigir a falha: verificar se a colocação de um aplicador diferente da prescrição da ficha técnica bloqueia o feixe. Providenciar a manutenção imediata em caso de diferença superior ao recomendado [30, 31].

B. Testes Mecânicos e Elétricos:

1 – Isocentro mecânico: Deslocamento do isocentro maior que 2,0mm – não verificado nos testes do PGQ.

Conseqüência: erro no cálculo da dose e determinação do volume de radiação.

Atitudes para corrigir a falha: verificar o posicionamento do isocentro e providenciar a manutenção imediata em caso de deslocamento superior ao recomendado.

2 – Escala ótica – indicação da distância de tratamento: Diferença de medida de distância de tratamento maior que 2,0mm – não verificado nos testes do PGQ.

Conseqüência: erro no cálculo da dose (profundidade de tratamento – uso da PDP incorreta).

Atitudes para corrigir a falha: conferir a medida da distância de tratamento fornecida pela escala ótica com uso de uma trena e medidor preciso de comprimento. Providenciar a manutenção imediata em caso de diferença superior ao recomendado.

3 – Tamanho de campo (módulo simétrico e assimétrico): Não coincidência do campo luminoso com o de radiação e desvio na medida do tamanho do campo maior que a tolerância.

Conseqüência: irradiação inadequada de tecidos circunvizinhos à lesão.

Atitudes para corrigir a falha: realizar os testes de coincidência do campo luminoso periodicamente e medir com régua de precisão as dimensões dos campos de radiação. Providenciar a manutenção imediata em caso de diferença superior ao recomendado [30, 31].

C. Testes Dosimétricos:

1 – Erro na caracterização da energia do feixe de elétrons: Medidas inadvertidas e com erros de posicionamento da câmara de ionização (C.I.).

Conseqüência: obtenção equivocada de parâmetros do feixe, gerando curva de PDP com valores errados com conseqüente uso incorreto nos procedimentos de calibração da câmara de placas paralelas e nos cálculos da dose absorvida e unidades monitoras. Isto tudo pode provocar liberação de overdose ou subdosagem nos paciente.

Atitudes para corrigir a falha: Maior rigor no posicionamento da C.I. e nos parâmetros e fatores utilizados no procedimento de caracterização da energia do feixe. Utilizar instrumentos e equipamentos apropriados para a dosimetria.

2 – Erro na calibração da câmara de placas paralelas (CPP): Medidas inadvertidas e com erros de posicionamento das câmaras de ionização cilíndrica e CPP.

Conseqüência: obtenção de valor errado do fator de calibração da CPP com posterior uso nos cálculos de dose e unidade monitora, gerando diferenças na dosagem absorvida nos tratamentos.

Atitudes para corrigir a falha: Maior rigor no posicionamento da C.I. e da CPP e nos parâmetros e fatores utilizados no procedimento de calibração da CPP. Utilizar instrumentos e equipamentos apropriados e perfeitamente calibrados para a dosimetria.

3 – Erro na calibração do feixe de elétrons: Medidas inadvertidas e com erros de posicionamento da câmara de ionização de placas paralelas.

Conseqüência: obtenção de valor errado do fator de calibração da energia do feixe e com posterior uso nos cálculos de dose e unidade monitora, gerando diferenças na dosagem absorvida nos tratamentos.

Atitudes para corrigir a falha: Maior rigor no posicionamento da CPP e nos parâmetros e fatores utilizados no procedimento de calibração do feixe. Utilizar instrumentos e equipamentos apropriados e perfeitamente calibrados para a dosimetria.

4 – Erro na determinação do fator-filtro, fator-bandeja, fator-aplicador: Erro na escolha e posicionamento dos acessórios ou troca de códigos e modelos.

Conseqüência: obtenção de valor errado dos respectivos fatores com posterior uso nos cálculos de dose e unidade monitora, gerando diferenças na dosagem absorvida nos tratamentos.

Atitudes para corrigir a falha: Maior rigor nos procedimentos de determinação dos respectivos fatores e utilizar instrumentos e equipamentos apropriados para a dosimetria [30, 31].

As principais dificuldades encontradas para assegurar o controle de qualidade dos equipamentos de radioterapia são:

1) Falta de tempo para a realização dos testes, uma vez que a rotina de funcionamento dos serviços de radioterapia é demasiadamente pesada, não se permitindo a parada dos atendimentos dos pacientes para a realização dos testes de controle de qualidade.

Ações frente a essa dificuldade: realização dos testes de controle de qualidade antes do início dos tratamentos (parte da manhã) e após o término da jornada (durante a noite e final de semana).

2) Aquisição, manutenção e atualização de instrumentos de medidas apropriados para os testes de CQ.

Ações frente a essa dificuldade: solicitação junto aos setores competentes da instituição para aquisição dos instrumentos atualizados para realização dos testes, sempre requisitando a redundância dos equipamentos, para garantia de instrumentos de reserva e sobressalente, e com razoável antecedência nos programas de manutenção preventiva e corretiva, bem como no agendamento antecipado da calibração das C.I. junto a laboratório de calibração [30, 31].

3 OBJETIVOS

Apresentar uma sugestão de Plano de Radioproteção a ser adotado pelos serviços de radioterapia, visando orientar os profissionais da física-médica na elaboração deste documento, bem como realçar a importância da Proteção Radiológica dentro do campo da Radioterapia.

4 ELABORAÇÃO DO PLANO DE radioproteção

Segundo a Norma 3.01 da CNEN, o plano de Radioproteção deve conter no mínimo, as seguintes informações:

- a) Identificação da instalação e da sua direção;
- b) Função, classificação e descrição das áreas da instalação;
- c) Descrição da equipe, instalações e equipamentos do serviço de radioproteção;
- d) Descrição das fontes de radiação e dos correspondentes sistemas de controle e segurança, com detalhamento das atividades envolvendo a sua aplicação e demonstração na otimização da radioproteção;
- e) Função e qualificação dos trabalhadores da instalação;
- f) Descrição dos programas e procedimentos relativos à monitoração individual, monitoração de área e monitoração de meio ambiente;
- g) Descrição do sistema de gerência de rejeitos radioativos, estando a eliminação de rejeitos sujeita a limites autorizados ou limites estabelecidos em Norma específica da CNEN;
- h) Estimativa de taxas de dose para cada tipo de radiação em condições de exposição de rotina;
- i) Descrição do serviço e controle médico de trabalhadores, incluindo planejamento médico em caso de acidentes;
- j) Programa de treinamento de trabalhadores;
- k) Níveis de referência, limites operacionais e limites derivados sempre que julgados convenientes;
- l) Descrição dos tipos de acidentes admissíveis incluindo o sistema de detecção dos mesmos, destacando o acidente mais provável e o de maior porte, com detalhamento da árvore de falhas, quando houver, e suas probabilidades;
- m) Planejamento de interferência em situações de emergência até o completo restabelecimento da situação normal;

- n) Instruções gerais a serem fornecidas por escrito aos trabalhadores visando à execução dos respectivos trabalhos em segurança.

O objetivo básico do plano de radioproteção é definir normas de segurança, bem como estabelecer procedimentos de rotina, de melhoria de qualidade e de emergência, abrangendo os princípios, limites, obrigações e controles básicos para a proteção do homem em operações que envolvam radiações ionizantes. Adequando-se as Normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear deve definir funções, atribuições e responsabilidades dos envolvidos na rotina do Serviço. Determinar parâmetros e regulamentar ações para o controle das exposições médicas, ocupacionais e exposições do público, decorrentes das práticas médicas.

Sugestão de Plano de Radioproteção:

I - Identificação da Instituição:

II - Localização do Serviço:

III - Direção da Instalação:

Diretor (a) do Hospital / Clínica: Nome / titulação / Cargo / Registro.

Médico Radioterapeuta: Nome / CRM / CBR / Título de Especialista.

Supervisor de Radioproteção: Nome / Título de Supervisor – CNEN /
Título de especialista – ABFM.

Supervisor de Radioproteção - Substituto: Nome / Título de Supervisor –
CNEN / Título de especialista – ABFM.

IV - Áreas da Instalação:

Descrição detalhada da localização da área destinada para funcionamento da radioterapia, dentro do hospital, clínica ou instituição, quantificando o espaço em metros quadrados. Detalhar as dependências do prédio (salas de tratamento – com equipamentos emissores de radiação), consultórios médicos, salas de exames, salas de cálculos de física, funcionamento da radioterapia, dentro do hospital, clínica ou instituição, quantificando o espaço em metros quadrados. Detalhar as dependências do prédio (salas de tratamento – com equipamentos emissores de radiação), consultórios médicos, salas de exames, salas de cálculos de física, secretaria, salas de espera, banheiros, arquivo morto, e demais ambientes destinados para o funcionamento do serviço.

Anexar a planta baixa e vista de cortes.

V – Serviço de radioproteção:

Descrever quais e quantos são os profissionais responsáveis pela radioproteção, identificando o nome, titulação, e credenciamento junto a CNEN e ABFM dos físicos responsáveis.

VI – Fontes de radiação e sistema de segurança:

No serviço deve existir um protocolo de qualidade montado conforme recomendações internacionais e composto dos ensaios, periodicidades e tolerâncias envolvendo o Controle de Qualidade.

A. Acelerador linear: Marca / Modelo /Mês/ Ano de Instalação.

Equipamento destinado a teleterapia com fótons e elétrons (quando for o caso), instalado na sala n°. (conforme planta) da planta já aprovada pela CNEN.

O equipamento dispõe de intertravamento para interrupção do feixe de radiação quando a porta é aberta, e não permite seu reinício sem autorização pelo painel de comando. Existem botões de emergência dentro da sala e no painel de comando do equipamento.

B. Unidade de cobaltoterapia: Marca / Modelo / Mês / Ano de Instalação / N°. Série da fonte / Atividade na Instalação (GBq) / Atividade Atual (GBq).

Equipamento destinado a teleterapia com Cobalto-60, instalado na sala n°. (conforme planta) da planta já aprovada pela CNEN.

O equipamento dispõe de intertravamento que interrompe o feixe de radiação quando a porta é aberta, e não permite seu reinício sem autorização pelo painel de comando. Existem botões de emergência dentro da sala e no painel de comando do equipamento.

C. Simulador: Marca / Modelo / Mês/ Ano de Instalação / N°. Série.

Equipamento de raios-X com energia máxima de (_____), destinado para simulação dos campos de tratamento, instalado na sala n°. (conforme planta) da planta já aprovada pela CNEN.

O equipamento dispõe de intertravamento para interrupção do feixe de radiação quando a porta é aberta. Existem botões de emergência, dentro da sala de planejamento (na parede, nas laterais da mesa e no comando de mão) e na sala de comando sobre o painel de comando do equipamento e parede.

D. Fontes de Sr-90 para betaterapia: Marca / Modelo / Isótopo / Mês/ Ano de Instalação / N°. Série da fonte /Atividade na Instalação (GBq) / Atividade Atual (GBq).

Utilização: () Oftalmológica () Dermatológica

Descrever a forma de acondicionamento das fontes (características do container) e o local onde estão guardadas.

VII – Trabalhadores da instituição e suas atribuições (obrigações básicas):

A. Responsabilidade da direção da instalação:

1. Ser responsável pela radioproteção e segurança da Instalação.
2. Tomar as providências necessárias relativas ao licenciamento da Instalação, de acordo com as normas aplicáveis de segurança e proteção baixadas pela CNEN.
3. Manter um Supervisor de Proteção Radiológica na área de Física Médica - Radioterapia, credenciado pela Comissão Nacional de Energia Nuclear.
4. Assessorar-se do Supervisor de Proteção Radiológica, sempre que houver assuntos relativos à Proteção Radiológica da Instalação.
5. Adquirir sempre que necessário, equipamentos de proteção radiológica de tal forma a minimizar as ocorrências de exposições

acidentais e exposições de emergência, e garantir um bom funcionamento do Serviço de Radioproteção .

6. Prover a monitoração individual dos trabalhadores da Instalação.
7. Autorizar, sempre que necessário, exposições de emergência.
8. Garantir tratamento médico adequado aos trabalhadores envolvidos em acidentes radioativos.
9. Informar aos trabalhadores sobre os riscos associados ao seu trabalho e sobre as normas de radioproteção adotados pela Instalação.
10. Enviar a CNEN para aprovação, quaisquer modificações em projetos da Instalação, que possam alterar as condições de exposições para trabalhadores e indivíduos do público.
11. Informar a CNEN em caso de acidente radioativo e procedimentos de emergência adotados pela Instalação.
12. Submeter a CNEN um relatório detalhado das situações anormais, tanto de acidentes como emergências, no qual deve constar uma análise quanto às causas e conseqüências.
13. Garantir aos inspetores da CNEN livre acesso às áreas da Instalação.

B. Responsabilidade do médico credenciado:

1. Cumprir o Plano de Radioproteção da Instalação aprovado pela CNEN.
2. Ser responsável pelo uso do material radioativo da Instalação.
3. Estabelecer, juntamente com o físico, as melhores opções para campos de radiação.
4. Prescrição da dose de tratamento e a técnica a ser seguida.
5. Escolher junto ao físico qual o melhor planejamento do tratamento.

6. A responsabilidade final das decisões do tratamento será sempre do médico radioterapeuta.
7. Acompanhar clinicamente o tratamento no período em que o paciente realiza a radioterapia.
8. Informar ao físico qualquer alteração que porventura possa ser feita no campo de tratamento.
9. Orientar as técnicas quanto à localização dos campos de tratamento.
10. Utilizar o monitor individual de leitura indireta sempre que estiver em área restrita.

C. Responsabilidade do supervisor de proteção radiológica:

1. Fazer cumprir o Plano de Radioproteção da Instalação aprovado pela CNEN.
2. Fazer cumprir as normas e recomendações da CNEN sobre radioproteção.
3. Informar por escrito à Direção da Instalação das necessidades de gastos para a manutenção das boas condições de radioproteção do serviço.
4. Informar à Direção da Instalação sobre as necessidades, para um bom funcionamento dos equipamentos de radioterapia e sobre todos os assuntos relativos à radioproteção.
5. Informar aos trabalhadores, periodicamente ou sempre que necessário, os respectivos dados radiológicos.
6. Manter livro de Registro de Ocorrências Radiológicas da Instalação.
7. Assumir o controle e aplicar as ações corretivas nas situações de emergência ou em casos de acidentes.

8. Estabelecer programa de treinamento junto com o médico, para formação de novos técnicos de radioterapia.
9. Treinar os técnicos repetidamente para enfrentar as emergências até tornarem-se familiarizados com todos os passos dos procedimentos.
10. Utilizar o monitor individual de leitura indireta sempre que estiver em área restrita.

D. Responsabilidade do físico médico:

1. Cumprir o Plano de Radioproteção da Instalação aprovado pela CNEN.
2. Assegurar a perfeita calibração e dosimetria de todos os aparelhos, fazendo dosimetrias rotineiras, bem como quando houver problema de ordem mecânica ou elétrica que possa comprometer o seu rendimento.
3. Estabelecer com o radioterapeuta a melhor opção para os tratamentos.
4. Compor curvas de isodose sempre que necessário e possível, de tal forma que possa garantir a dose prescrita pelo médico no volume alvo.
5. Discutir com o radioterapeuta sempre que houver possibilidade de aquisição de novos equipamentos para o serviço, bem como novas instalações e/ou ampliação.
6. Estabelecer programa de treinamento junto com o médico, para formação de novos técnicos de radioterapia.
7. Supervisionar, sempre que possível, o trabalho executado pelas técnicas.
8. Utilizar o monitor individual de leitura indireta sempre que estiver em área restrita.

E. Responsabilidade dos técnicos:

1. Cumprir o Plano de Radioproteção da Instalação aprovado pela CNEN.
2. Comunicar ao Supervisor de Proteção Radiológica, qualquer problema de ordem elétrica ou mecânica que possa ser observado no aparelho, ou qualquer evento que, no seu entender, possa influir nos níveis de exposições ou risco de ocorrência de acidente.
3. Zelar pelo aparelho e seus acessórios, verificando se os mesmos apresentam-se em bom estado durante o período de serviço para evitar possíveis acidentes que possam pôr em risco os pacientes.
4. Colaborar com a formação de novos técnicos, dando toda a informação necessária.
5. Auxiliar o Supervisor de Proteção Radiológica, Físico Médico e o Médico Radioterapeuta nas atividades diárias da Instalação.
6. Seguir atentamente a ficha de tratamento com os parâmetros de tratamento.
7. Ajustar no comando os parâmetros de tratamento para cada campo.
8. Comunicar ao Físico Médico e ao Radioterapeuta qualquer erro ou engano que por acaso tenha cometido, no sentido que, com os profissionais anteriormente referidos possam encontrar uma solução para o problema.
9. Observar o paciente através do monitor de vídeo durante o tratamento, advertindo-o em caso de movimentação.
10. Fazer as colimações dos campos de radiação de maneira correta, recorrendo ao Médico ou ao Físico sempre que necessário.

11. Executar as suas atividades em conformidade com os requisitos e exigências dos regulamentos de radioproteção estabelecidos pela Direção da Instalação.
12. Interessar-se para comunicar devidamente os colegas de outros turnos sobre alterações ocorridas no planejamento/ posicionamento/ dose de um determinado paciente ou outras informações importantes.
13. Evitar o acesso de pessoas não autorizadas às áreas restritas onde os mesmos desempenham as suas atividades.
14. Participar de programas de treinamento e reciclagem na unidade.
15. Utilizar o monitor individual de leitura indireta sempre que estiver em área restrita.
16. Cumprir os procedimentos de Radioproteção e Segurança da Instalação.

F. Responsabilidade da equipe de enfermagem

1. Realizar consultas de enfermagem, preparo para exame físico e cuidados gerais com os pacientes.
2. Realizar controle de estoque e reposição do material de consumo clínico.
3. Elaborar a lista de pacientes em tratamento requerendo revisão pelo médico e/ou pela enfermagem.

VIII – Programa de monitoração

A. Monitoração individual:

Os trabalhadores da Instalação possuem monitor individual de leitura indireta mensal para ser utilizado sempre que estiverem em área restrita ou durante o expediente de trabalho, sendo fornecida por uma empresa devidamente credenciada pela CNEN e compatível com as condições de

exposição, tais como o tipo de radiação, energia, geometria de irradiação do corpo, tempo de exposição e taxa de dose.

Todo o trabalhador deverá utilizar o monitor pessoal na altura do tórax.

Na ocorrência de acidente ou suspeita de acidente, o dosímetro será encaminhado à empresa fornecedora para avaliação.

Os trabalhadores da Instalação possuem ficha individual de controle de doses com informações como: nome completo, data de nascimento, nº de CPF, tipo de radiação que poderá ficar exposto, data do início do trabalho com radiação e outros.

Segundo os critérios da CNEN – NN 3.01, foi estabelecido como níveis de referencia 0,2 mSv para registro, 1,0 mSv para investigação e 1,5 mSv para intervenção.

B. Monitoração de área:

O monitor portátil de radiação tipo Geiger Muller é utilizado para levantamento radiométrico do meio ambiente, para garantir que o nível de radiação esteja condizente com as normas em vigor.

Todos os dispositivos de segurança são verificados, tais como intertravamento da porta de acesso à sala, botões de emergência, luz de sinalização e mecanismos de controle de feixe de radiação.

Todas as áreas sujeitas à exposição às radiações ionizantes são sinalizadas com o símbolo indicativo, segundo a Norma da CNEN. Além disso, estão afixados nas proximidades do comando do equipamento os procedimentos em caso de emergência, a serem seguidos pelos funcionários, que possuem monitores individuais para uso em serviço. O acesso ao prédio é controlado pelo pessoal administrativo, e o acesso às áreas controladas será sinalizado e controlado por serviço próprio da Instalação.

Anualmente será realizado o levantamento radiométrico em pontos selecionados nas vizinhanças das salas dos equipamentos, verificando a manutenção dos níveis de exposição e os valores serão registrados para futuras inspeções da CNEN.

IX – Limitação de dose e otimização da radioproteção:

A. Disposição Gerais

Nenhum indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE) será exposto à radiação sem que:

- seja necessário;
- tenha conhecimento dos riscos radiológicos associados ao seu trabalho;
- esteja adequadamente treinado para o desempenho seguro de suas funções.

Indivíduos com idade inferior a 18 anos não podem estar sujeitos a exposições ocupacionais.

Gestantes não trabalharão em áreas controladas, a partir da notificação da gravidez.

B. Limites operacionais

Serão respeitados os seguintes Limites de Dose Anuais:

- (a) Indivíduos ocupacionalmente exposto (IOE) - 20mSv
- (b) Indivíduos do público - 1mSv

Para fins de controle administrativo, o termo dose anual deve ser considerado com dose no ano calendário, isto é, no período decorrente de janeiro a dezembro de cada ano.

Em circunstâncias especiais, a CNEN poderá autorizar temporariamente uma mudança na limitação de dose para IOE, desde que: não exceda 50mSv em qualquer ano, o período temporário de mudança não

ultrapasse 5 anos consecutivos; e que a dose efetiva média nesse período temporário de mudança não exceda 20mSv por ano.

Em circunstância especiais, a CNEN poderá autorizar um valor de dose efetiva para o público de até 5mSv ano, desde que a dose efetiva média em um período de 5 anos consecutivos não exceda a 1mSv por ano.

C. Exposições de emergência

No caso de exposições ocupacionais recebidas no curso de uma intervenção, devem ser cumpridos os seguintes requisitos, conforme apropriado, em relação às equipes de intervenção.

a) nenhum membro das equipes de intervenção, para atendimento a situações de emergência, deve ser exposto a dose superior ao limite anual de dose para exposição ocupacional, estabelecido na norma CNEN- NN-3.01, exceto com a finalidade de:

- salvar vidas ou prevenir danos sérios à saúde;
- executar ações que evitem dose coletiva elevada; ou
- executar ações para prevenir o desenvolvimento de situações catastróficas.

b) quando da realização de intervenções para atendimento a situações de emergência sob as circunstâncias mencionadas acima, as doses efetivas dos membros da equipe devem ser inferiores a 100mSv, com exceção das ações para salvar vidas, quando devem ser sempre observados os limiares relacionados aos efeitos determinísticos.

c) somente podem empreender ações nas quais a dose efetiva possa exceder 50mSv. Nesses casos, esses voluntários devem ser informados, com antecedência, dos riscos associados à saúde, e devem ser treinados para as ações que possam ser necessárias.

d) quando a fase de pós-emergência de uma intervenção for iniciada, os membros das equipes, que efetuaram operações de recuperação, deverão

estar sujeitos aos mesmos requisitos de exposição ocupacional para as práticas, conforme a norma CNEN- NN- 3.01.

e) o titular, empregador e responsáveis pelas demais organizações envolvidas na intervenção, devem, durante a intervenção de emergência, fornecer proteção radiológica apropriada aos membros das equipes, avaliar e registrar as doses recebidas e, quando a intervenção terminar, fornecer os históricos das doses recebidas.

f) as doses recebidas em situação de emergência não impedem exposições ocupacionais posteriores, uma vez que estas não devem ser contabilizadas para fins de conformidade com os limites de dose para práticas. No caso de ter recebido, em situação de emergência, uma dose efetiva superior a 100mSv ou dose absorvida superior ao limiar de efeitos determinísticos, o titular ou empregador deve solicitar aconselhamento médico qualificado, antes que o membro da equipe venha a se submeter a qualquer exposição adicional.

A Instituição deverá informar a CNEN o ocorrido e as providências tomadas.

D. Estimativa das exposições de rotina:

- a) Indivíduos ocupacionalmente expostos - 3mSv/ano
- b) Indivíduos do público - menor que 1mSv/ano.

X – Controle médico

A supervisão médica abrangerá os seguintes exames:

1. Exame pré-ocupacional para verificar se o trabalhador está em condições de saúde física e mental para iniciar a sua ocupação, incluindo uma análise do seu histórico médico e radiológico contendo todas as informações sobre exposições anteriores.

2. Exame hematológico de acordo com as doses recebidas pelo trabalhador.
3. Exames específicos em trabalhadores que tenham recebido doses superiores aos limites estabelecidos em normas da CNEN ou sempre que o Médico julgar necessário.
4. Exame pós-ocupacional imediatamente após o término da ocupação no emprego.

XI - Treinamento

O programa de treinamento consiste dos seguintes tópicos:

1. Identificação do Aparelho e Funções e Operação;
2. Técnicas de Tratamento;
3. Noções de Anatomia;
4. Noções de Física da Radioterapia;
5. Proteção Radiológica - Normas CNEN;
6. Curso de reciclagem - cada 2 anos.

XII – Instruções aos trabalhadores

a) Sala de acelerador linear

1. Proibida a entrada de acompanhantes e pessoas alheias ao serviço na área de comando e na sala de tratamento.
2. Observar o paciente durante todo o tratamento, interrompendo a irradiação sempre que necessário.
3. Observar a sinalização antes de entrar na sala.
4. Use o dosímetro pessoal sempre que estiver na área de serviço.
 - Procedimento de Emergência
5. O feixe não é interrompido ao transcorrer a unidade monitor programada (UM primária - AL) ou tempo de exposição (Co-60). A unidade de tratamento calcula automaticamente o tempo necessário para uma

determinada UM. Se o feixe não for interrompido pela UM primária, o *timer* do equipamento desligará o feixe.

6. O feixe não é interrompido pelo *timer*. Na falha do *timer*, o feixe será desligado pelo monitor secundário (T2 – Co-60).

7. Falha da UM secundária (ou T2). Neste caso, o feixe deverá ser desligado pelo dispositivo de emergência do console ou pela chave *on-off*.

- Como proceder em caso de emergência:

O técnico deve estar sempre atento ao funcionamento da máquina para detectar quaisquer irregularidades com o equipamento, não permitindo exposição desnecessária do paciente. Ao verificar que se completou a UM programada e o feixe não foi desligado, o técnico deverá interromper o feixe imediatamente (através da chave *on-off* ou do dispositivo de emergência do console), antes mesmo do acionamento do *timer* ou da UM secundária.

Na eventualidade dos sistemas de segurança descritos acima falharem, deverá ser cortada a alimentação elétrica geral do equipamento emissor de radiação.

Na ocorrência de qualquer uma das situações acima, o Supervisor de Radioproteção deverá ser comunicado imediatamente.

Quando o equipamento apresentar oscilações anormais ou defeitos consecutivos, o técnico deverá comunicar ao Supervisor de Radioproteção para evitar paralisações mais prolongadas do equipamento devido a intensificação de um problema pré-existente.

Na ocorrência de focos de fumaça ou cheiro de queimado nos módulos da unidade de tratamento, o equipamento deverá ser desligado. Comunicar o Supervisor de Radioproteção.

Caso o Supervisor de Radioproteção não se encontre no local no momento da ocorrência de qualquer uma das situações acima, o médico Radioterapeuta deve ser comunicado.

Telefones de emergência:

Supervisor de Proteção Radiológica: Nome / Telefones

Supervisor de Proteção Radiológica – Substituto: Nome / Telefones

Médico Radioterapeuta: Nome / Telefones

Colocar as instruções acima em local bem visível na sala de comando.

b) Unidade de cobaltoterapia

1. Proibida a entrada de acompanhantes e pessoas alheias ao serviço na área de comando e na sala de tratamento.
2. Observar o paciente durante todo o tratamento, interrompendo a irradiação sempre que necessário.
3. Observar a sinalização antes de entrar na sala.
4. Se o equipamento apresentar qualquer problema elétrico, fumaça ou cheiro de queimado, desligue-o.
5. O técnico deve manter-se o mais afastado possível da cabeça do aparelho, pois menor será a radiação recebida e ser o mais rápido possível nas localizações.
6. Use o dosímetro pessoal sempre que estiver na área de serviço.

- Como proceder em caso de emergência:

Caso a fonte não retorne a posição normal ao final do tratamento (ou durante uma interrupção de tratamento), deve ser acionado o botão de emergência do console.

Caso a fonte continue exposta, entrar na sala e girar o volante (ou mecanismo de liberação da fonte – depende do modelo do equipamento)

que se encontra atrás do cabeçote do aparelho, no sentido indicado pela flecha (sentido horário). Continuando a fonte exposta, retire o paciente de dentro da sala e feche a porta de acesso a sala de tratamento e isole a área próxima ao aparelho.

O Técnico deve comunicar imediatamente o ocorrido ao Supervisor de Proteção Radiológica ou ao Radioterapeuta caso o primeiro não se encontre no local no momento do ocorrido.

Telefones de emergência:

Supervisor de Proteção Radiológica: Nome / Telefones

Supervisor de Proteção Radiológica – Substituto: Nome / Telefones

Médico Radioterapeuta: Nome / Telefones

Colocar as instruções acima em local bem visível na sala de comando.

c) Equipamento simulador

1. Proibida a entrada de acompanhantes e pessoas alheias ao serviço na área de comando e na sala de tratamento.
2. Observar o paciente durante todo o planejamento.
3. Se o equipamento apresentar qualquer problema elétrico, fumaça ou cheiro de queimado, desligue-o. Comunicar o ocorrido ao Supervisor de Radioproteção.
4. Equipamento de raios-x usado para radiografia
 - 4.1. Durante o exame radiográfico, o pessoal do "staff", deve se colocar dentro da sala de comando e observar o paciente por meio do visor plumbífero.
 - 4.2. O campo de irradiação deve ser reduzido ao máximo possível e exeqüível ao exame radiológico.
 - 4.3. Quando o filme e/ou paciente precisarem ser fixados utilize suportes adequados.

4.4. Somente será permitida a permanência de acompanhantes na sala de exames em casos de extrema necessidade, enquanto não for realizada a radiografia.

5. Equipamento de raios-X usado em fluoroscopia.

5.1. Deve ser feita adaptação dos olhos ao escuro antes do exame.

5.2. Durante o exame fluoroscópico, o pessoal do "staff", deve se colocar dentro da sala de comando e observar o paciente por meio do visor plumbífero.

5.3. O campo de irradiação deve ser reduzido ao máximo possível e exeqüível ao exame fluoroscópico.

5.4. Evitar tempos longos de fluoroscopia.

5.5. Somente será permitida a permanência de acompanhantes na sala de exames em casos de extrema necessidade, enquanto não for realizado a fluoroscopia.

6. Acionar os botões de emergência quando necessário.

7. Use o dosímetro pessoal sempre que estiver na área de serviço.

Telefones de emergência:

Supervisor de Proteção Radiológica: Nome / Telefones

Supervisor de Proteção Radiológica – Substituto: Nome / Telefones

Médico Radioterapeuta: Nome / Telefones

Colocar as instruções acima em local bem visível na sala de comando.

d) Fontes de betaterapia

1. A fonte deve ser guardada em seu container sempre que não estiver sendo utilizada.

2. A fonte deve ser guardada no container dentro do armário quando não estiver sendo utilizada. O armário deve ser mantido sempre trancado e a chave recolhida.

3. Qualquer acidente que venha a ocorrer com as fontes, comunicar imediatamente o Supervisor de Radioproteção.

4. Use o dosímetro pessoal sempre que estiver na área de serviço.

Telefones de emergência:

Supervisor de Proteção Radiológica: Nome / Telefones

Supervisor de Proteção Radiológica – Substituto: Nome / Telefones

Médico Radioterapeuta: Nome / Telefones

Colocar as instruções acima em local bem visível na sala de comando.

XII – Interferência em situação de emergência

a) Acelerador linear

O técnico deve estar sempre atento ao funcionamento da máquina para detectar qualquer irregularidade com o equipamento, não permitindo exposição desnecessária ao paciente. Ao verificar que se completou a UM programada e o feixe não foi desligado, o técnico deverá interromper o feixe imediatamente (através da chave *on-off* ou do dispositivo de emergência do console), antes mesmo do acionamento do *timer* ou da UM secundária.

Na eventualidade dos sistemas de segurança descritos acima falharem, deverá ser cortada a alimentação elétrica geral do acelerador.

Na ocorrência de qualquer uma das situações acima, o Supervisor de Radioproteção deverá ser comunicado imediatamente, o qual entrará em contato com o engenheiro responsável pela manutenção do equipamento da instituição, seguindo suas orientações para normalizar o equipamento. Não sendo solucionado, o Supervisor de Radioproteção deverá interditar a máquina até que o problema seja resolvido.

Quando o equipamento apresentar oscilações anormais ou defeitos consecutivos, o técnico deverá comunicar o Supervisor de Radioproteção para evitar paralisações mais prolongadas do equipamento devido à intensificação de um problema pré-existente.

Na ocorrência de focos de fumaça ou cheiro de queimado nos módulos da unidade de tratamento, o equipamento deverá ser desligado e o Supervisor de Radioproteção investigará, sob orientação do engenheiro da instituição, a causa do problema. Não sendo detectada a causa, será aguardada a chegada da manutenção com o equipamento fora de operação.

b) Unidade de cobaltoterapia

Caso a fonte não retorne à posição normal ao final do tratamento (ou durante uma interrupção de tratamento), deve ser acionado o botão de emergência do console.

Caso a fonte continue exposta, entrar na sala e girar o volante (ou mecanismo de liberação da fonte – depende do modelo do equipamento) que se encontra atrás do cabeçote do aparelho, no sentido indicado pela flecha (sentido horário). Continuando a fonte exposta, retire o paciente de dentro da sala e feche a porta de acesso a sala de tratamento e isole a área próxima ao aparelho.

O Técnico deverá comunicar imediatamente o ocorrido ao Supervisor de Proteção Radiológica ou ao Radioterapeuta, caso o primeiro não se encontre no local no momento do ocorrido.

Quanto ao Supervisor de Proteção Radiológica, cabe a verificação se os procedimentos citados acima foram executados, tentando mais uma vez o recolhimento da fonte, se não for possível, informar imediatamente a CNEN do ocorrido.

c) Betaterapia (Placa oftalmológica e dermatológica Sr-90)

Os aplicadores de betaterapia disponíveis no serviço devem estar armazenados em seus container próprios e devidamente sinalizados e guardados em local apropriado com segurança e indicação da presença de material radioativo.

Procedimentos a serem executados pelo Supervisor de Radioproteção, em caso de extravio das fontes radioativas de betaterapia:

- Levantamento radiométrico do Setor Técnico de Radioterapia, e demais unidades que possam ter profissionais que circulam pela radioterapia, tais como a lavanderia e lixeiras hospitalares.

No caso de não se encontrar as fontes, deve-se informar os órgãos e autoridades competentes, tais como a Supervisão do Hospital / Clínica, Vigilância Sanitária local e a CNEN.

d) Unidade de braquiterapia

Em caso de acidente ou incidente serão seguidas as instruções constantes da ficha de emergência, que são as seguintes:

1. Isolar a área e manter as pessoas afastadas do local do acidente,
2. Sinalizar o local,
3. Eliminar ou manter afastados todos os focos de ignição, tais como cigarros, motores, etc.
4. Registrar os nomes e endereços das pessoas envolvidas no acidente,
5. Registrar o tempo e o índice de radiação nos pontos ocupados pelos acidentados,
6. Fornecer as fichas de emergência aos socorros públicos assim que chegarem,
7. Comunicar imediatamente ao transportador, ao embarcador do produto, ao Corpo de Bombeiros, à Polícia, e à CNEN.

Os riscos são os seguintes:

FOGO: A embalagem foi projetada para prover contenção e blindagem em caso de incêndio.

SAÚDE: Riscos de irradiação externa em caso de permanência prolongada junto à embalagem e/ou perda da blindagem.

MEIO AMBIENTE: Risco de contaminação em caso de perda de blindagem e selagem.

XIV – Plano de terapia

a) Teleterapia

Regiões adjacentes ao campo de irradiação que apresentam órgãos críticos, são feitas colimações adequadas ao tipo de unidade de terapia utilizada, por exemplo, quando o campo de aplicação é próximo ao cristalino do olho.

Região de tratamento que inclua a medula óssea é feita a colimação da mesma a partir da dose limite de 4500cGy.

Ajustar corretamente a posição do corpo do paciente sobre a mesa de tratamento, de tal forma a reproduzir o planejamento inicial.

Imobilização do paciente sempre que necessário, para garantir a reprodutibilidade do campo de tratamento.

Devido ao problema de penumbra (Unidade de Cobaltoterapia), deve-se colimar regiões de GAP ou campos adjacentes.

Deve ser respeitado todos o parâmetros especificados na ficha técnica de tratamento.

b) Betaterapia

- Oftamológica

Além dos procedimentos normais de rotina, como o uso de blefarostato (abridor de olho), colírios anestésico, curativo, desinfecção da

placa, é necessário que o paciente olhe para o lado contrário ao da área a ser irradiada.

O técnico deve tomar o cuidado para não direcionar a área ativa da placa oftalmológica, em sua direção ou para o paciente enquanto não estiver posicionada na região de tratamento.

- Dermatológica

Nos procedimentos de prevenção de quelóide, caso necessário, dividir a área a ser tratada com auxílio de uma caneta, de modo a não permitir que ocorra sobreposição da região ativa da placa em uma mesma região do paciente.

O técnico deve tomar o cuidado para não direcionar a área ativa da placa dermatológica, em sua direção ou para o paciente enquanto não estiver posicionada na região de tratamento e manter a mão que segura a placa, sempre atrás da proteção de acrílico na haste da placa.

XV – Instrumentos de medição radiológica

- Monitor de Radiação (G.M): Fabricante / Modelo / N° de série / Patrimônio / Certificado de calibração: Laboratório / Data
- Dosímetro Clínico: Fabricante / Modelo / N° de série / Patrimônio / Certificado de calibração: Laboratório / Data
- Câmara de Ionização (cilíndrica ou de placas paralelas): Fabricante / Modelo / N° de série / Patrimônio / Certificado de calibração: Laboratório / Data

XVI – Registro dos dados dosimétricos

- Registros dos testes de dosimetria dos equipamentos: Registro em livro próprio das dosimetrias iniciais e de rotina da Instalação.
- Registros dos dados técnicos do paciente e do tratamento: Será mantida uma ficha de registro de pacientes constando a data, nome e

número de registro e diagnóstico, dose de tratamento, devidamente rubricado pelo médico e pelo físico.

Na ocasião de inspeções pela CNEN, todas as documentações, estarão à disposição dos inspetores, sendo garantido livre acesso à todas as áreas da Instalação.

XVII – Procedimento para o levantamento radiométrico

O objetivo do levantamento radiométrico é determinar a dose média semanal, com o monitor de radiação, nas áreas adjacentes à Instalação e comparar se os resultados obtidos estão de acordo com os limites de dose estabelecidos pela Norma da CNEN.

Área Livre	1 mSv/ano
Área Controlada	20 mSv/ano

As medidas são realizadas com o campo máximo de irradiação.

O cálculo da dose semanal é definida pela equação:

$$D = L.U.T.t_{\text{beam on}}$$

em que, D – dose semanal (mSv/h);

L – leitura média, lida diretamente do instrumento de medida;

U – fator uso;

T – fator ocupação;

$t_{\text{beam on}}$ – tempo de beam on .

Os resultados do levantamento radiométrico são registrados e mantidos no Serviço de Radioterapia para análise dos inspetores da CNEN.

XVIII - Inventário

Fontes radioativas seladas do Setor de Teleterapia: Tipo de fonte (isótopo) / Marca / Modelo / Atividade (GBq).

XIX – Gerência de rejeitos

O plano de transporte da fonte na braquiterapia deve conter:

Especificação do embalado: Tipo/ Modelo/ Atividade da fonte/ Peso aproximado/ Índice de transporte/ Taxa de dose à 1m/ Taxa de dose na superfície.

Especificação do conteúdo: Radionuclídeo/ Tipo/ Forma/ Estado físico/ Condição/ Atividade/ Finalidade.

Os Serviços de Teleterapia utilizam fontes radioativas seladas e, portanto não geram rejeitos radioativos.

XX – Definições e siglas

Acidente – qualquer evento não intencional, incluindo erros de operação e falhas de equipamentos, cujas conseqüências reais ou potenciais são relevantes sob o ponto de vista de proteção radiológica.

Área controlada – área sujeita as regras especiais de proteção radiológica e segurança, com finalidade de controlar as exposições normais, prevenir a disseminação de contaminação radioativa e prevenir ou limitar a amplitude das exposições potenciais.

Área livre – qualquer área que não seja classificada como área controlada ou área supervisionada.

Área restrita – área sujeita as regras especiais de segurança na qual as condições de exposição podem ocasionar doses equivalentes efetivas

anuais superiores a 1/50 (dois centésimos) do limite primário para trabalhadores.

Atividade (de uma quantidade de radionuclídeo em um determinado estado de energia em um instante de tempo) – grandeza definida por $A=dN/dt$, onde dn é o valor esperado do número de transições nucleares espontâneas daquele estado de energia no intervalo de tempo dt . A unidade do sistema internacional é o recíproco do segundo (s^{-1}), denominada becquerel (Bq).

Carga de trabalho – nível de utilização de um equipamento de raios X ou fonte de radiação gama.

Calibração – conjunto de operações destinadas a fazer com que as indicações de um instrumento correspondam a valores pré-estabelecidos das grandezas a medir.

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear.

Dose – dose absorvida, dose efetiva, dose equivalente ou dose comprometida, dependendo do contexto, conforme definido na norma CNEN.

Dosimetria – método de medição direta ou indireta, ou por cálculos, de grandezas radiológicas tais com dose absorvida, dose equivalente, kerma, exposição etc, e demais técnicas associadas.

Efeito determinístico – efeitos para os quais existe um limiar de dose absorvida necessária para sua ocorrência e cuja gravidade aumenta com o aumento da dose.

Empregador – pessoa física ou jurídica com responsabilidades e deveres reconhecidos com relação a seu empregado, estagiário, bolsista ou estudante, no seu trabalho ou treinamento, devido a um contrato ou outro acordo formal. Um autônomo é considerado empregador e empregado.

Exposição – ato ou condição de estar submetido à radiação ionizante.

Fator de ocupação – fator que multiplicado pela carga de trabalho fornece o nível de ocupação de uma dada área quando fontes de radiação estão em condições de irradiação.

Fator de uso – fração da carga de trabalho durante a qual o feixe útil de radiação está direcionado para um determinado alvo.

Fonte de Radiação (ou simplesmente **Fonte**) – aparelho ou material que emite ou é capaz de emitir radiação ionizante.

Fonte radioativa selada (ou simplesmente **Fonte**) – material radioativo hermeticamente encapsulado de modo a evitar vazamentos e contato com referido material, sob condições de aplicação específicas.

Indivíduo do público – qualquer membro da população quando não submetido à exposição ocupacional ou exposição médica.

Instalação – estabelecimento ou parte de um estabelecimento ou local destinado à realização de uma prática. A instalação pode ser classificada com instalação nuclear ou instalação radioativa.

Instalação radioativa – estabelecimento ou instalação onde se produzem, utilizam, transportam ou armazenam fontes de radiação.

Intervenção – toda ação adotada com o objetivo de reduzir ou evitar a exposição ou a probabilidade de exposição a fontes que não façam parte de uma prática controlada, ou que estejam fora de controle em consequência de um acidente, terrorismo ou sabotagem.

IOE (Indivíduo Ocupacionalmente Exposto) – indivíduo sujeito à exposição ocupacional.

Medidor de Radiação – Instrumento de medição de grandezas associadas à radiação ionizante.

Monitor de radiação – medidor de radiação que também possui a função de fornecer sinais de alerta ou alarme em condições específicas.

Monitoração Individual – monitoração de pessoas por meio de dosímetros individuais colocados sobre o corpo.

Monitoração – medição de grandezas e parâmetros para fins de controle ou avaliação da exposição à radiação, incluindo a interpretação dos resultados.

Plano de Radioproteção – documento que estabelece o sistema de radioproteção a ser implantado pelo Serviço de Radioproteção.

Proteção radiológica ou Radioproteção – conjunto de medidas que visam a proteger o ser humano e seus descendentes contra possíveis efeitos indesejados causados pela radiação ionizante.

Radiação ionizante ou Radiação – qualquer partícula ou radiação eletromagnética que, ao interagir com a matéria, ioniza seus átomos ou moléculas.

Radioterapia – aplicação médica da radiação ionizante para fins terapêuticos.

Serviço de Radioterapia (ou simplesmente **Serviço**) – instalação médica para a aplicação de Radioterapia em pacientes.

Símbolo internacional da radiação ionizante – símbolo utilizado internacionalmente para indicar a presença de radiação ionizante.

Situação de emergência – situação envolvendo exposição temporária de pessoas, em decorrência de acidente, terrorismo ou sabotagem, que implique em intervenção.

Supervisor de proteção radiológica ou supervisor de radioproteção – indivíduo com habilitação de qualificação emitida pela CNEN, no âmbito de sua atuação, formalmente designado pelo titular da instalação para assumir a condução das tarefas relativas às ações de proteção radiológica na instalação relativos àquela prática.

Teleterapia – Radioterapia com distância grande entre a fonte de radiação e o paciente, comparadas com as dimensões do tecido irradiado sob tratamento.

Titular – responsável legal pela instituição, estabelecimento ou instalação para a qual foi outorgado, pela CNEN, uma licença, autorização ou qualquer outro ato administrativo de natureza semelhante.

XXI - Referências bibliográficas

CNEN – NN – 3.01 – Diretrizes Básicas de Radioproteção

CNEN – NE – 3.02 – Serviços de Radioproteção

CNEN – NE – 3.06 – Requisitos de Radioproteção e Segurança para Serviços de Radioterapia

TEC DOC -1151 - Aspectos físicos da garantia da qualidade em radioterapia

RDC-20 - Anvisa

XXII - Elaboração

O Plano de Radioproteção deste Serviço de Radioterapia foi elaborado pelo Supervisor de Radioproteção, Sr.(a) _____

5 DISCUSSÕES

A maior dificuldade no desenvolvimento deste trabalho deve-se ao fato de não haver possibilidade da apresentação das informações dos Planos de Radioproteção consultados devido às próprias normas dos Serviços.

O Plano de Radioproteção sugerido neste trabalho foi apresentado para profissionais supervisores em radioproteção na área de radioterapia e estudantes do curso de física médica com a finalidade de verificar o grau de entendimento e exeqüibilidade do mesmo na rotina dos serviços. Todos os consultados não apresentaram grandes dificuldades em interpretar o documento e mostraram-se favoráveis a sua adoção nas instituições onde trabalham. Lembrando que esta sugestão serviria apenas como partida para um trabalho longo e trabalhoso. E que o modelo deve ser adaptado para a realidade do Serviço.

6 CONCLUSÕES

A elaboração do Plano de Radioproteção além de ser exigência da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) para se obter a autorização de funcionamento dos serviços de radioterapia, é de suma importância para o desenvolvimento harmônico das atividades específicas dos profissionais. Nota-se que muitos dos acidentes ocorridos e relatados poderiam ser evitados se os respectivos serviços possuíssem e obedecessem as recomendações do Plano de Radioproteção.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 20, de 02 de fevereiro de 2006**. D.O.U. - Diário Oficial da União; Poder Executivo, 2006.

[2] Bitelli T. **Física e Dosimetria das Radiações**. São Paulo: Editora Stheneu; Centro Universitário São Camilo, 2006.

[3] Castro AM. **Avaliação de perfil dos resíduos de serviços de saúde de Belo Horizonte quanto à presença de rejeitos radioativos na destinação final** [Dissertação de Mestrado]. Belo Horizonte: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear; 2005.

[4] Comissão Nacional de Energia Nuclear. NE — 3.01: **dispõe sobre as diretrizes básicas de radioproteção**. CNEN. DNE-32, Res. 12/88. Diário Oficial da União 1988; 01 ago.

[5] Comissão Nacional de Energia Nuclear. NE — 3.02: **dispõe sobre serviços de radioproteção**. CNEN. DNE-33, Res. 10/88. Diário Oficial da União 1988; 01 ago.

[6] Comissão Nacional de Energia Nuclear. NE — 3.06: **estabelece requisitos de radioproteção e segurança para serviços de radioterapia**. CNEN. DNE-43, Res. 01/90. Diário Oficial da União 1990; 30 mar.

[7] Comissão Nacional de Energia Nuclear. NE — 6.02: **dispõe sobre o licenciamento de instalações radiativas**. CNEN. DNE-21, Res. 9/84. Diário Oficial da União 1984; 16 dez.

[8] Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Aplicações da Energia Nuclear.** Disponível em: < <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/aplica.pdf>>. Acesso em: 26/09/2008.

[9] Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Energia Nuclear.** Disponível em: < <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/energia.pdf>>. Acesso em: 26/09/2008.

[10] Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Historia da Energia Nuclear.** Disponível em: < <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/historia.pdf>>. Acesso em: 26/09/2008.

[11] Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Programa de Integração CNEN.** Disponível em: < <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/PIC.pdf>>. Acesso em: 26/09/2008.

[12] Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Radiações Ionizantes e a Vida.** Disponível em: < http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/rad_ion.pdf>. Acesso em: 26/09/2008.

[13] Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Radioatividade.** Disponível em: < <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/radio.pdf>>. Acesso em: 26/09/2008.

[14] IAEA Safety Series nº17. **Lessons Learned Accidental Exposures in Radiotherapy**. Acessado em: 14/10/2008. Disponível em: www.iaea.org

[15] Instituto Nacional de Câncer. **Curso a Distância: O Elétron na Radioterapia**. FIOCRUZ. Rio de Janeiro, 2005.

[16] Instituto Nacional de Câncer. **Estimativas da incidência e mortalidade por câncer no Brasil para 1998**. Rio de Janeiro: INCA, 1998.

[17] Instituto Nacional de Câncer. **TEC DOC - 1151: aspectos físicos da garantia da qualidade em radioterapia**. Rio de Janeiro: INCA, 2000.

[18] Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes. Designado pelo INMETRO IRD/CNEN/MCT. **Grandezas e Unidades para Radiação Ionizante**. Rio de Janeiro, 2002.

[19] Ministério da Saúde. **Manual de Radioterapia**. Rio de Janeiro: 1970.

[20] **Noções Básicas de Proteção Radiológica**, São Paulo: IPEN, 2002.

[21] Okuno E. Caldas IL. Chow C. **Física para Ciências Biológicas e Biomédicas**. São Paulo: Harbra, 1982.

[22] Okuno E. **Radiação: Efeitos, Riscos e Benefícios**. Ed. Harbra, 1988.

[23] Portaria GM/MS n. 3.535, de 02 de setembro de 1998. **Estabelece critérios para cadastramento de centros de atendimento em oncologia**. Diário Oficial da União 1998; 03 set.

[24] Portaria MS n. 113, de 31 de março de 1999. **Estabelece normas para cadastramento dos serviços que executam procedimentos de alta complexidade em câncer**. Diário Oficial da União 1999; 01 abr.

[25] Resolução SS n. 625, de 14 de maio de 1994. **Aprova norma técnica que dispõe sobre o uso, posse e armazenamento de fonte de radiação ionizante no âmbito do Estado de São Paulo**. Diário Oficial do Estado de São Paulo 1994; 15 dez.

[26] Resolução CNS n. 06, de 21 de dezembro de 1988. **Aprova as normas técnicas gerais de radioproteção para a defesa da saúde dos pacientes, indivíduos profissionalmente exposto e do público em geral, para cumprimento do disposto no art. 9º do Decreto n. 81.384, de 22 de fevereiro de 1978**. Diário Oficial da União 1989; 05 jan.

[27] Salvajoli JV. **Radioterapia em oncologia**. São Paulo: Medsi; 1999.

[28] Scaff LAM. **Física da radioterapia**. São Paulo: Sarvier; 1997.

[29] Secretaria de Estado da Saúde do Estado de São Paulo. **Mortalidade por câncer no Estado de São Paulo 1988-1998**. São Paulo: Fundação Oncocentro de São Paulo, Secretaria de Estado da Saúde do Estado de São Paulo; 2000.

[30] Souza CN, Monti CR, Sibata CH. **Recomendações para se evitar grandes erros de dose em tratamentos radioterapêuticos**. Radiol Bras 2001; 34:29-37.

[31] Vigna E. **Acidentes em Radioterapia**. Anais do Congresso da Sociedade Brasileira de Radioterapia. 2002.

[32] Zanardo MLAM. **Distribuição de recursos de alta tecnologia: a situação da radioterapia** [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Escola de Administração de Empresas de São Paulo; 1992.

[33] World Health Organization. **Cancer home**. Acessado em: 24/9/2008. Disponível em: [http:// www. who.int/cancer/en/](http://www.who.int/cancer/en/)