

Noções Básicas de Radioterapia - 2



- Histórico
- Conceitos Básicos
- Planejamento das Doses
- **Braquiterapia**
- **Equipamentos**
- **Radioproteção**

Prof. Alwin Elbern, Ph.D.

1

Braquiterapia

RADIOTERAPIA A CURTA DISTÂNCIA - Braquiterapia

Na sua tese de doutoramento em 1904, Madame Curie descreveu um experimento biológico em que ela colocava uma cápsula contendo rádio no braço do seu esposo e deixava-a por várias horas. Ela disse que era produzido uma ferida que levava um mês para sarar. *Esta ferida não era uma "queimadura" superficial; a avaria era muito mais profunda.* A possibilidade de usar rádio para destruir o câncer foi reconhecida quase que imediatamente.

A vantagem da braquiterapia é que ela dá uma dose muito grande ao tumor com o mínimo de radiação para os tecidos vizinhos normais.

2




Vantagens

- Alta dose ao tumor (pequeno volume) X baixa dose aos tecidos circunjacentes
- Curta duração do tratamento

A Braquiterapia é uma modalidade de Radioterapia na qual o elemento radioativo é colocado em proximidade ou dentro do órgão a ser tratado. Para isto são utilizados elementos radioativos específicos, de pequeno tamanho e formas variadas, que são colocados na posição de tratamento através de guias chamados cateteres ou sondas.

Atualmente, com o desenvolvimento dos sistemas computadorizados, os elementos radioativos entram dentro dos guias após sua colocação no paciente, controlados por um programa de computador no qual o físico calcula a dose de tratamento prescrita pelo médico.

3



Desvantagens da Braquiterapia

Sua principal desvantagem é a não uniformidade da dose desde que a radiação é muito mais intensa perto da fonte, embora usando muitas fontes ajuda fazer a dose mais uniforme

Uma outra desvantagem se relaciona com a segurança das radiações. O terapeuta deve estar próximo à fonte enquanto elas estão sendo colocadas no lugar. O paciente é uma "fonte radioativa" durante os dias em que as fontes estão no lugar, e as enfermeiras e outros estão expostos assim à radiação.

A radiação para o terapeuta tem sido muito reduzida pela técnica "carregamento a posteriori".

O terapeuta cuidadosamente coloca tubos ôcos no paciente e mais tarde rapidamente coloca as fontes radioativas nos tubos.

4



Princípios

Um dos princípios da radioterapia é tratar o volume tumoral, ou o local onde este se encontra, preservando ao máximo as estruturas normais vizinhas.

Pois bem, com a braquiterapia é possível irradiar-se volumes alvo muito pequenos com uma alta dose, pois conforme nos distanciamos do elemento radioativo a dose decai rapidamente, poupando-se portanto as estruturas normais vizinhas de receberem a dose total prescrita.

A braquiterapia pode ser utilizada como um acréscimo de dose local após um curso de radioterapia externa, ou como um tratamento exclusivo; depende da doença.

5



Tipos de Braquiterapia

Por localização da fonte :

- **Intracavitária** : ginecológicas (útero, vagina), brônquio, esôfago, ductos biliares
- **Intersticial** : mama, sarcomas de membros, língua, ...
- **Superficial** : moldes ou placas (pele)

Pelo “”Loading”(carregamento dos guias com o material radioativo)

- **Manual pura**: o material é colocado diretamente no tecido alvo
- **“Afterloading”** (pós-garga) manual: cateteres ou aplicadores são colocados, e então o material é inserido nesses guias, manualmente
- **“Remote afterloading”** (pós-carga por controle remoto): cateteres são colocados e então o material é inserido mecanicamente na aplicação.

6

Tipos ...

Pela duração da braquiterapia

- **Implantes permanentes:** fonte é perene no paciente, nele decaindo. Normalmente, utilizam-se isótopos de meia vida curta : Iodo-125, Paládio-103, Ouro-198
- **Implantes temporários:** removidos após o tratamento. Existe um melhor controle da dose no volume alvo, pelo planejamento pós-inserção (Césio-136, Irídio-192).

Pela taxa de dose

Baixa taxa de dose: geralmente é tratamento único, com liberação da dose ao longo de horas ou dias. Requer internação e isolamento e a colocação dos aplicadores ou material radioativo geralmente é feita sob anestesia ou sedação.

7

Taxa de Dose

Alta taxa de dose: o elemento radioativo possui uma alta atividade, e portanto libera uma alta dose em um tempo pequeno. Com isto, as aplicações são rápidas, e o tempo de tratamento total, muito menor do que com a braquiterapia convencional de baixa taxa de dose. Geralmente, o tratamento é fracionado e não requer internação nem anestesia.

Na braquiterapia de alta taxa de dose, depois de inseridos os cateteres, o paciente é radiografado para o cálculo da dose em sistema computadorizado. Para tal utilizam-se marcadores metálicos que possibilitam a identificação dos cateteres nas radiografias. Estes dados são então digitalizados no sistema de cálculo para o físico definir os tempos e doses de tratamento

8

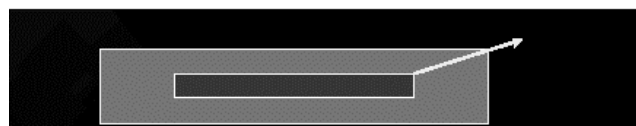
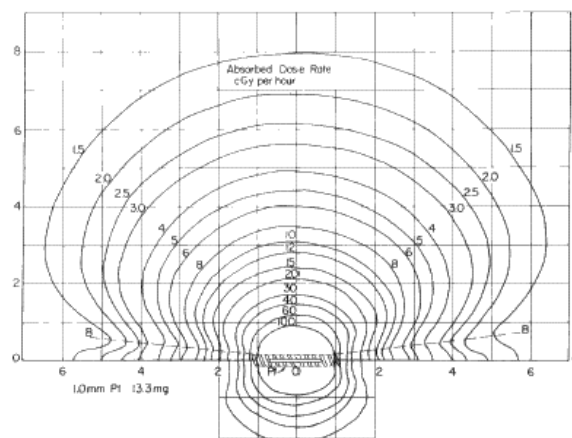
Fontes de Braquiterapia - ^{226}Ra

● Rádio (^{226}Ra)

- Decai para radônio emitindo partícula α e raios γ
- Meia vida: 1600 anos
- $\Gamma = 0,825 \text{ mRh}^{-1}\text{mCi}^{-1}\text{m}^2$
- Energia dos fótons:
 - Média: 0,78 MeV
 - Máxima: 2,45 MeV
- Implantes temporários intersticiais e intracavitários

9

Fonte de Ra – Distribuição de Dose



10

Fontes de Braquiterapia - ^{137}Cs

- Césio (^{137}Cs)
 - Decai para bário emitindo partícula β e raios γ
 - Meia vida: 30 anos
 - $\Gamma = 0,635 \text{ mRh}^{-1}\text{mCi}^{-1}\text{m}^2$
 - Energia dos fótons:
 - Média: 0,662 MeV
 - Máxima: 0,662 MeV
 - Implantes temporários intersticiais e intracavitários
 - Substituiu o Rádio

11

Fontes de Braquiterapia - ^{125}I

- Iodo (^{125}I)
 - Decai por captura eletrônica
 - Meia vida: 60,1 dias
 - $\Gamma = 0,145 \text{ mRh}^{-1}\text{mCi}^{-1}\text{m}^2$
 - Energia dos fótons:
 - Média: 0,028 MeV
 - Máxima: 0,035 MeV
 - Implantes intersticiais permanentes

12

Fontes de Braquiterapia - ^{198}Au

- Ouro (^{198}Au)
 - Decai para mercúrio emitindo partícula β e raios γ
 - Meia vida: 64,7 horas
 - $\Gamma = 0,238 \text{ mRh}^{-1}\text{mCi}^{-1}\text{m}^2$
 - Energia dos fótons:
 - Média: 0,42 MeV
 - Máxima: 0,68 MeV
 - Implantes intersticiais permanentes

13

I.M.R.T

Radioterapia com Feixe de Intensidade Modulada

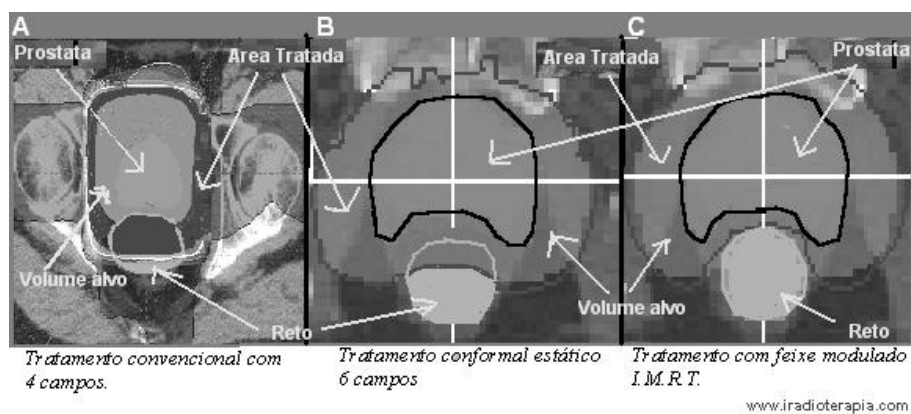
A técnica de irradiação denominada de feixe de intensidade modulada (I.M.R.T.- Intensity Modulated Radiation Therapy), é a mais recente técnica em operação em alguns países como Estados Unidos da América e Europa

Consiste em moldar o feixe radioativo das composições de campos de um acelerador de tal forma a irradiar o tumor exatamente na sua forma, ou muito próximo a isso. Para tal utilizam-se pequenos colimadores, dinâmicos, que durante o movimento e liberação do feixe de radiação vai abrindo e fechando conforme a necessidade de intensidade de radiação.

14

Comparação entre Técnicas

Diferenças em entre as diversas técnicas de irradiação para um câncer de próstata localizado:



15

Equipamentos para Radioterapia

Até 1940 o radioterapeuta tinham pouca escolha na fonte de radiação que ele usava no tratamento do câncer.

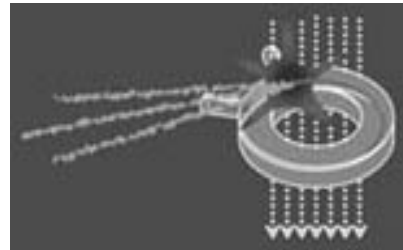
A maioria da terapia externa era dada com unidades de raio-X de ortovoltagem que tinham um potencial máximo de 250 kVp ou menos poucos centros médicos tinham unidades de 400 kVp ou a nova máquina de 1.000 kVp ou 1 milhão de volt.

Após a II Guerra Mundial vários desenvolvimentos significativos foram feitos nas máquinas de terapia.

16

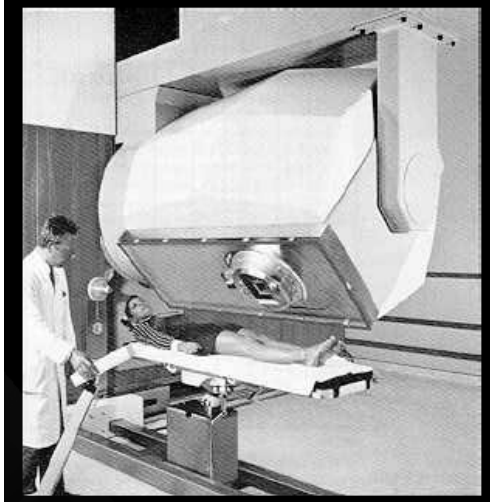
Betatron

Kerst desenvolveu o **Betatron**, que acelera elétrons a altas energias. Os elétrons podem ser usados diretamente ou podem ser usados para produzir um feixe de raio-X de alta energia. O **bétron** ajudou abrir uma nova era na terapia de radiação - a era da megavoltagem.



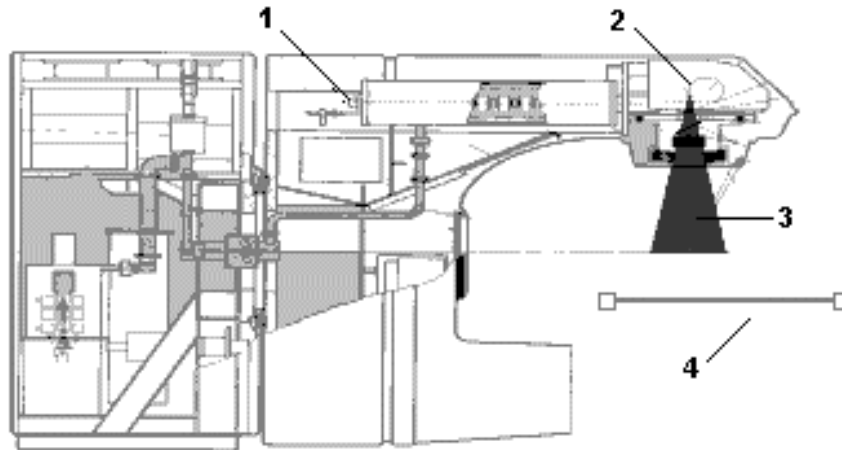
17

1941 - Betatron



18

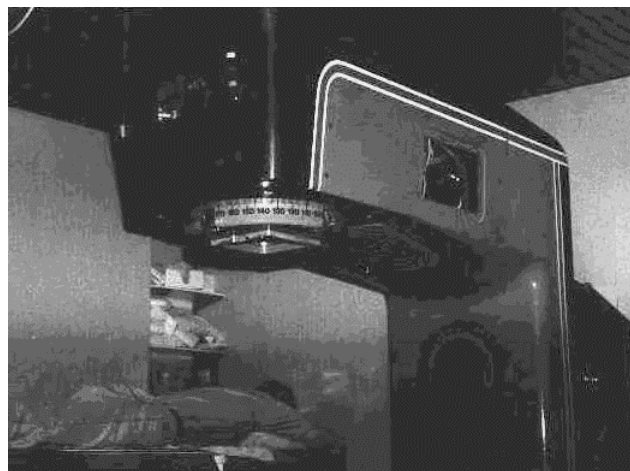
Acceptorador Linear



Esquema de um acelerador linear. 1. Fonte de elétrons. 2. Alvo. 3. Feixe de elétrons ou fótons. 4. Mesa de tratamento.

19

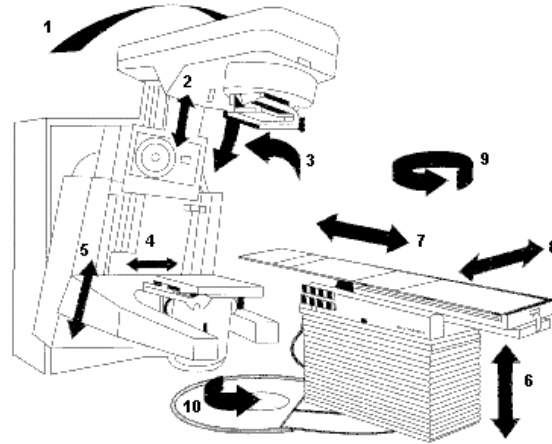
Acceptorador Linear



Acceptorador linear modelo Neptune-10 da CGR MeV que produz feixes de elétrons com energias de 6, 8 e 10 MeVs, além de Raios-X

20

Graus Liberdade de um Acelerador



Graus de liberdade de aceleradores lineares e simuladores. 1. Rotação do braço. 2. Distância foco-eixo. 3. Rotação do colimador. 4 e 5. Movimentos lateral e longitudinal do intensificador de imagem (somente simulador). 6, 7 e 8. Movimentos vertical, longitudinal e lateral da mesa.

9. Rotação da mesa no pedestal. 10. Rotação da mesa no isocentro.

21

Características de Aceleradores

● Características Mecânicas

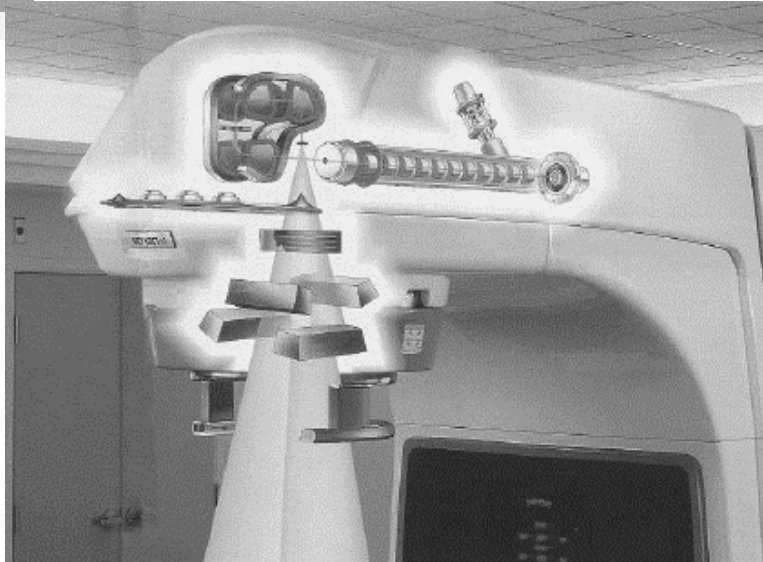
- Distância fonte-isocentro:
 - máquinas antigas: 80 cm \Rightarrow 100 cm
 - máquinas atuais: 100 cm
- Altura do isocentro: \sim 130 cm
- Tamanho de campo: 0x0 cm² \Rightarrow 40x40 cm²
- Rotação do gantry: 360°
- Rotação do colimador: \geq 180°

● Características do feixe

- Raios-x com energia máxima tipicamente de 4, 6, 10, 15 e 18 MV
- Elétrons com energia de 3 a 23 MeV
- Taxas de dose ajustável desde 50 cGy/min até acima de 800 cGy/min no isocentro

22

Acelerador Linear



23

Fontes de Cobalto

A primeira unidade de terapia com ^{60}Co foi feita no Canadá por **Harold Johns** em 1951.

Muitas das unidades ^{60}Co são projetadas para girar em volta do paciente. Um grande metal para-raios absorve a radiação que passa através do paciente e reduz a quantidade de proteção necessária nas paredes.

A radiação de saída de uma fonte de 370 TBq de ^{60}Co é cerca de 200 R/min a um metro da fonte. Um tratamento típico em radioterapia consiste de 3 Gy (menos do que 2 min) cada dia por cerca de 20 dias (excluindo os fins de semanas).

24

Fontes de Cobalto-60

A aplicação das fontes radioativas artificiais para a terapia de radiação foi um outro importante desenvolvimento pós-guerra. Embora o câncer tenha sido tratado por décadas com fontes radioativas de rádio colocadas diretamente no tumor ou sobre ele (ver Seção 5), existia rádio insuficiente para produzir um feixe externo útil de raios gama.

Um das fontes radioativas fáceis para produzir num reator é o ^{60}Co . O cobalto-60 emite raios gamas penetrantes de cerca de 1.25 MeV de energia.

Estes raios são aproximadamente tão penetrantes quanto os raios-X de uma máquina de raio-X de 3 milhões de volts, mas a unidade ^{60}Co é muito mais compacta

25

Teleterapia de Cobalto -60

Unidade de Teleterapia de Cobalto 60

- Características Mecânicas
 - Distância fonte-isocentro:
 - máquinas antigas: 60 cm \Rightarrow 80 cm
 - máquinas atuais: 80 cm \Rightarrow 100 cm
 - Altura do isocentro: \sim 110 cm
 - Tamanho de campo: 5x5 cm² \Rightarrow 35x35 cm²
 - Rotação do gantry: 360°
 - Rotação do colimador: $>$ 180°

26

Telecobalto

Foto do aparelho de telecobaltoterapia (Gammatron)

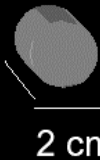
A calibração da saída das unidades de terapia requer o uso cuidadoso de uma câmara de ionização para medir os röntgen por minutos nos tratamentos usuais a distância.



27

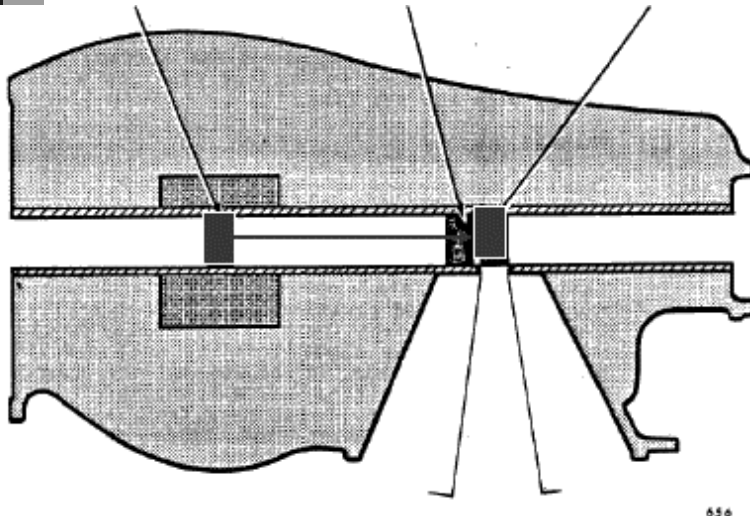
Teleterapia de Cobalto - Fonte

● Fonte ^{60}Co

- Dimensões típicas: 2 cm 
- Encapsulamento: aço inoxidável
- Energia: fótons de 1,17 e 1,33 MeV
- Meia-vida: 5,26 anos
- Atividade: 3000 Ci – 12000 Ci
- Taxa de dose: 50 – 300 cGy/min (10x10 cm², prof. = 5 cm)

28

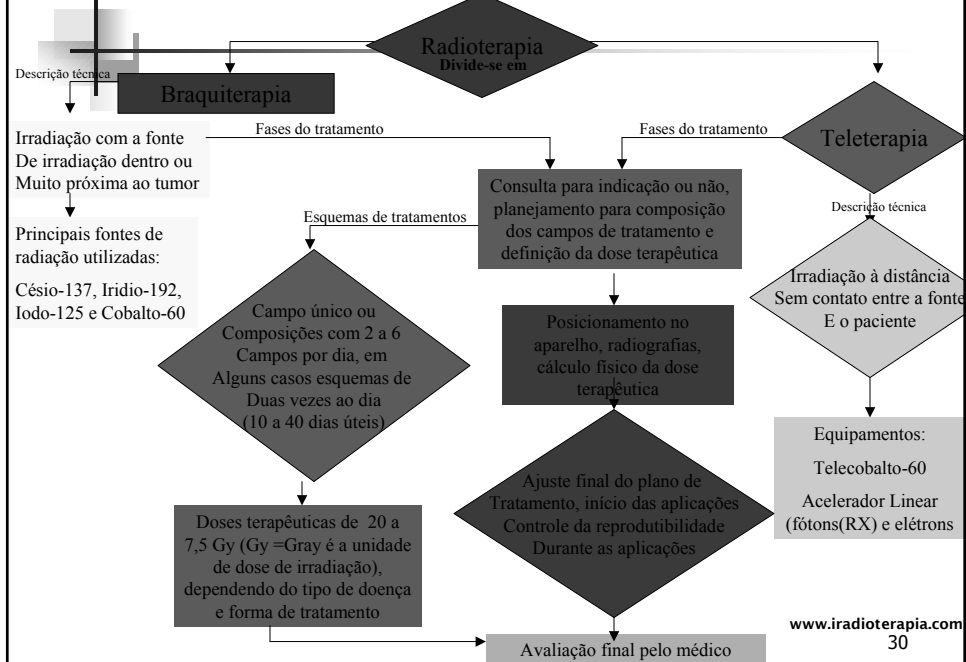
Cabeçote de unidade de Teleterapia

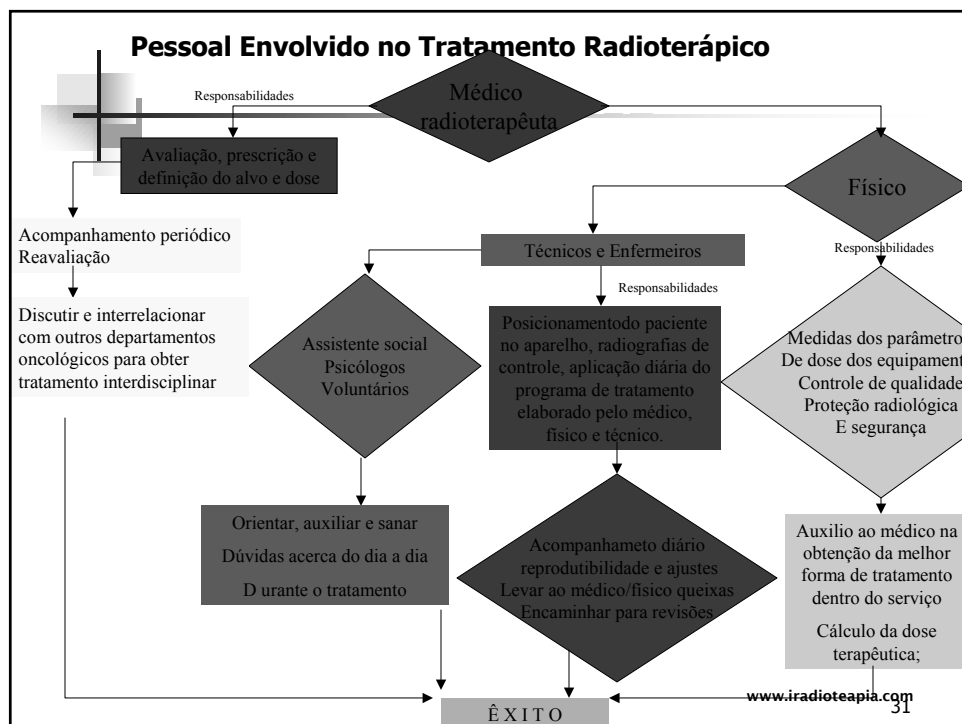


556

29

Esquema Resumido do Tratamento Radioterápico





Proteção Radiológica - Radioterapia

Normas Aplicáveis aos Serviços de Radioterapia

- CNEN-NE-3.01 – Diretrizes Básicas de Radioproteção
- CNEN-NE-3.02 – Serviços de Radioproteção
- CNEN-NN-3.03 – Certificação da Qualificação de Supervisores de Radioproteção
- CNEN-NE-3.06 - Requisitos de Radioproteção e Segurança para Serviços de Radioterapia
- CNEN-NE-5.01 – Transporte de Materiais Radioativos
- CNEN-NE-6.01 – Registro de Profissionais para Uso e Manuseio de Fontes de Radiação
- CNEN-NE-6.02 – Licenciamento de Instalações radiativas
- CNEN-NE-6.05 – Gerência de Rejeitos Radioativos em Instalações Radiativas

Requisitos de Radioproteção e Segurança para Serviços de Radioterapia

- **Tópicos:**
 - **Princípio da Justificativa**
 - **Responsabilidades Básicas**
 - **Plano de Radioproteção**
 - **Instalações e Equipamentos**
 - **Controle e Monitoração de Área**
 - **Blindagens**
 - **Programa de Garantia da Qualidade**
 - **Controle de Qualidade dos instrumentos de Medida**
 - **Procedimentos e Dispositivos de Segurança**
 - **Requisitos Gerais de Radioproteção em Radioterapia**
 - **Requisitos de Projeto e Operação**
 - **Análise e Registros**
 - **Fiscalização**

33

Princípio da Justificação

Devem ser levados em consideração:

- As vantagens relativas em comparação com outros métodos de tratamento, tais com cirurgia e quimioterapia;
- Os riscos de indução de detrimentos malignos, e os riscos devido a tratamento alternativos;
- O balanço entre a gravidade da condição a ser tratada e a possibilidade de ocorrência de efeitos estocásticos e determinísticos (fora do volume alvo).

34

Responsabilidades Básicas

- A Direção do Serviço de Radioterapia – TITULAR- É responsável pela segurança e radioproteção dos pacientes e da equipe médica e deve assegurar:
 - Que somente pessoal treinado e autorizado opere fontes de radiação;
 - Todos recursos necessários para minimizar a probabilidade de ocorrência de acidentes;
 - Treinamento e recursos materiais para atuação em situação de incidente ou acidente;

35

Responsabilidades

- Que as *fontes de radiação* (e rejeitos radioativos) estejam adequadamente instaladas e protegidas;
- Que sejam fornecidas e aplicadas todas as normas de Radioproteção e instruções de segurança aos pacientes e à equipe médica;
- Pronta comunicação à CNEN sobre a retirada de uso de qualquer fonte, bem como sobre a ocorrência de perdas, roubos ou danos de fontes.

36



PLANO DE RADIOPROTEÇÃO

- **Instrumentação para medição da radiação**
- **Plano para situação de emergência, fornecendo as possíveis condições de acidentes, prováveis conseqüências, e os procedimentos que serão adotados para controlá-las;**
- **Procedimentos de radioproteção utilizados durante as sessões de Radioterapia, incluindo em braquiterapia a monitoração de área com o paciente internado;**
- **Gerência de rejeitos radioativos, (CNEN-NE-6.05)**
- **Controle físico das instalações;**

37



Plano de Radioproteção (cnt)

- **Procedimentos e resultados de monitorações radiológicas de todas as áreas onde são manuseadas, utilizadas e armazenadas fontes de radiação;**
- **Dosimetria inicial completa das fontes de radiação (comissionamento) e freqüência de realização (das dosimetrias e controles periódicos);**
- **Inventário das fontes de braquiterapia existentes;**
- **Procedimentos empregados para transporte de material radioativo, interno e externo ao Serviço, incluindo materiais adquiridos.**

38

Instalações e Equipamentos

O Serviço de Radioterapia deve estar equipado com:

- **laboratório para o preparo e uso de material radioativo;**
- **armazenamento de fontes e rejeitos radioativos;**
- **monitoração individual e monitoração de área;**
- **dosimetria de fontes;**
- **calibração, aferição e ajuste de equipamentos**
- **armazenamento de instrumentos de medidas;**
- **áreas livres adjacentes a salas de tratamento, aos laboratórios para o preparo e uso de material radioativo, as salas de armazenamento de fontes e rejeitos radioativos.**

39

Controle e Monitoração de Área

- **Antes do início de operação de qualquer instalação de Radioterapia e após a ocorrência de qualquer modificação em equipamentos, carga de trabalho, condições de operação e de blindagem que possam alterar significativamente os níveis de radiação, devem ser realizados controles e monitorações de área.**
- ▼ **Realização de medições de níveis de radiação em barreiras secundárias usando fantomas e feixe útil de radiação com o maior tamanho de campo clinicamente utilizado;**

40



Controle e Monitoração de Área

- ✓ **blindagens, intertravamentos, mecanismos de controle de feixe de radiação, dispositivos e avisos de segurança;**
- ✓ **verificação da aplicação de restrições, se o projeto e/ou emprego de uma instalação depende das mesmas com relação ao fator de uso de qualquer barreira primária;**
- ✓ **registro em livro próprio, de todos os dados e resultados obtidos, inclusive observações e recomendações necessárias para a tomada de ações corretivas.**

41



Blindagens

Devem atender aos seguintes requisitos:

- **blindagens e as dimensões das instalações serão tais que as operações possam ser executadas em conformidade com os limites autorizados e o princípio da otimização;**
- **janelas e portas de salas de tratamento atenderão aos mesmos requisitos de blindagem aplicáveis às paredes onde estão localizadas;**
- **projetos de novas instalações e/ou modificações envolvendo blindagem estrutural serão revistos e aprovados por perito qualificado e estão sujeitos à aprovação por Autoridade Competente;**
- **projetos e/ou modificações em instalações, incluindo especificações de blindagens, estarão arquivados em local próprio e acessível à auditoria da CNEN.**

42

Garantia da Qualidade – Dosimetria das Fontes

A dosimetria da fonte (dos equipamentos irradiadores) está incluída no programa de GQ de modo a verificar (garantir):

- o valor da grandeza radiológica (*) utilizada para todos os tamanhos de campos e qualidades (energia) de feixes de radiação empregados para todas as distâncias e condições de irradiação;
- a qualidade (energia) do feixe útil de radiação para todas as condições de operação;
- a congruência entre o campo de radiação e o campo indicado pelo dispositivo localizador;
- a uniformidade do campo de radiação e sua dependência com relação à direção do feixe útil de radiação.

(*) dose absorvida para teleterapia e kerma para HDR

43

CQ dos Instrumentos de Medida

CQ para os dosímetros clínicos (DC) e monitores de área (MA), considerando:

- calibração periódica (1 ano para MA e 2 anos para DC de referência) em laboratórios autorizados pela CNEN
- recalibração (independente aos períodos estabelecidos), em casos de ocorrências de defeitos, consertos ou indicação de funcionamento irregular;
- Aferições periódicas com fontes-testes
- Aferição imediatamente após a realização de transportes;

44



Procedimentos e Dispositivos de Segurança

Devem ser empregados:

- dispositivos de segurança que previnam a ocorrência de erros na seleção dos parâmetros essenciais à Radioterapia e para desempenho dos equipamentos;
- Intertravamento nas portas que previnam acesso indevido de pessoas durante o tratamento;
- dispositivos luminosos indicadores na sala de controle e na (entrada) sala de tratamento;
- medidas de segurança para prevenir a remoção acidental ou não autorizada de fontes, (ocorrência de incêndios e inundações)
- Dispositivos que interrompam automaticamente as irradiações após um período de tempo ou dose pre-estabelecidos;

45



Requisitos Gerais de Radioproteção em Radioterapia

- **Não é permitida a presença de acompanhantes nas salas de irradiação e em quartos de braquiterapia;**
- **Não é permitida a irradiação de pessoas para propósitos de treinamento ou demonstração;**
- **Em tratamento com feixe superiores a 60 keV não é permitido a presença de pessoas na sala e inferior a 60 keV é obrigatório o uso de vestimentas de proteção com espessura equivalente a 0,5 mm de Pb;**
- **Possibilidade de observar e comunicar com os pacientes a partir da sala de comando;**
- **Planejamento do tratamento radioterápico de forma a reduzir (ALARA) a dose equivalente efetiva em pacientes e a dose em órgãos radiosensíveis que não sejam objeto do tratamento;**

46



Supervisor de Radioproteção

O Supervisor de Radioproteção do Serviço de Radioterapia é responsável por:

- Proceder à análise de resultados de controle e monitoração, de medidas de segurança;
- Calibração e aferição de equipamentos, e quando necessário, providenciar as devidas correções ou reparos;

47



Obrigações do Supervisor de Radioproteção

- **O Supervisor é responsável por Registrar integralmente, em livro próprio:**
 - plano de tratamento;
 - resultados de controles e monitoração;
 - medidas de segurança;
 - ocorrências radiológicas;
 - resultados do controle de qualidade;
 - resultados de dosimetria (com que frequência faz);
 - registros de dose individual acumulada;
 - programa de treinamento;
 - informação sobre movimentação de fontes e condições de operação,
 - segurança de equipamentos e gerência de rejeitos radioativos.

48

Fiscalização

- A CNEN realiza auditorias para verificar o cumprimento dos requisitos estabelecidos em suas normas
- A CNEN exercerá a necessária autoridade para intervir em caso de não cumprimento dos requisitos descritos
- A CNEN pode, a seu critério, cancelar provisória ou definitivamente as autorizações fornecidas no âmbito da sua competência.

49

Bibliografia

1. Walter Huda e Richard Slone, *Review of Radiologic Physics*, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 1994.
2. Steve Webb (Org.), *The Physics of Medical Imaging*, London: Institute of Physics, 1988.
3. T.J. Godden “Physical Aspects of Brachytherapy” MPH Handbooks-19 – Adam Hilger-1998.
4. SC Klevenhagen “Physics of Electron Beam Therapy” MPH – 13 Adam Hilger 1998

Normas da CNEN www.cnen.gov.br

www.fsc.ufsc.br/~canzian/fismed/programa.html

www.iradioterapia.com/pacientes/leftlistapac.htm

www.ird.gov.br - Maria Helena Maréchal

www.ird.gov.br - Delano Batista

50