



# RADIOTERAPIA

Prof. Luciano Santa Rita  
E-mail: [Tecnologo@lucianosantarita.pro.br](mailto:Tecnologo@lucianosantarita.pro.br)  
Site: [www.lucianosantarita.pro.br](http://www.lucianosantarita.pro.br)



# Sumário

---

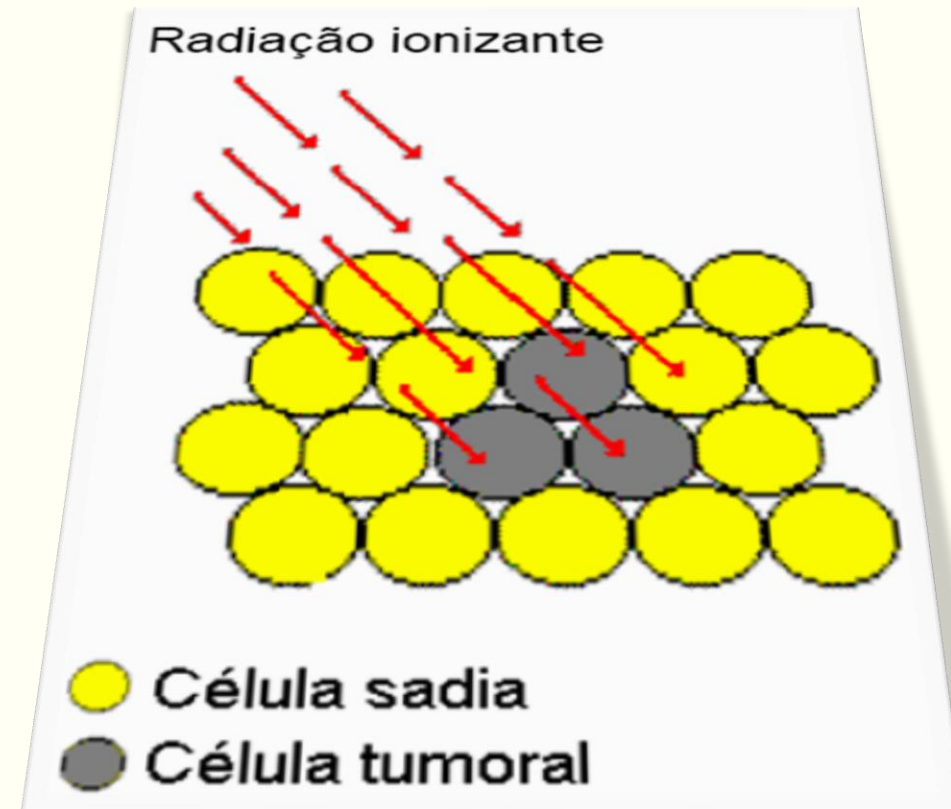
- Histórico da radioterapia
- Fundamentos de física aplicado a radioterapia
- Câncer: O que é esta patologia.
- Equipamento radioterápico (simulador, teleterapia)
- Aspectos físicos dos tratamentos radioterápicos (Planejamento Radioterápico)
- Braquiterapia e seus aspectos físicos
- Proteção radiológica na radioterapia
- Avanços tecnológicos na radioterapia

# Histórico da radioterapia

---

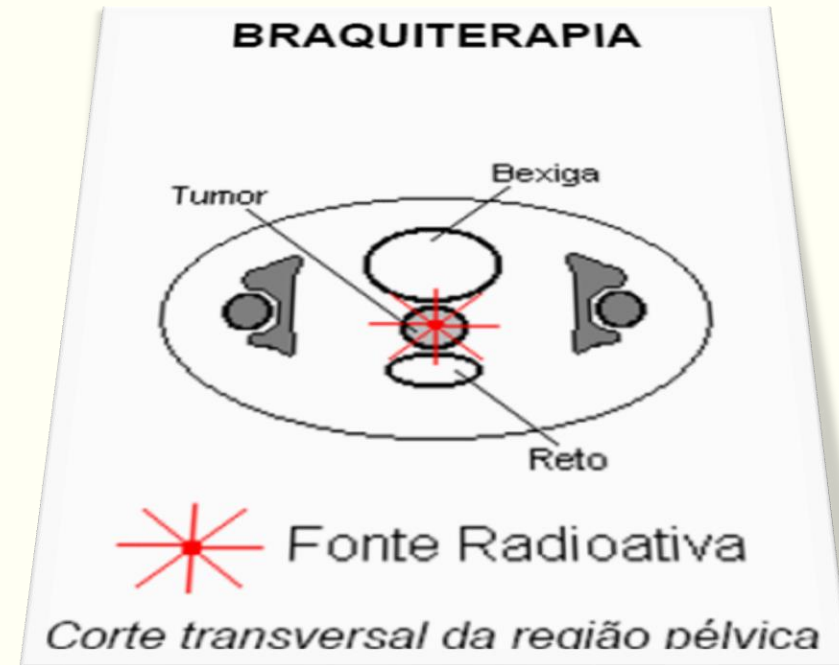
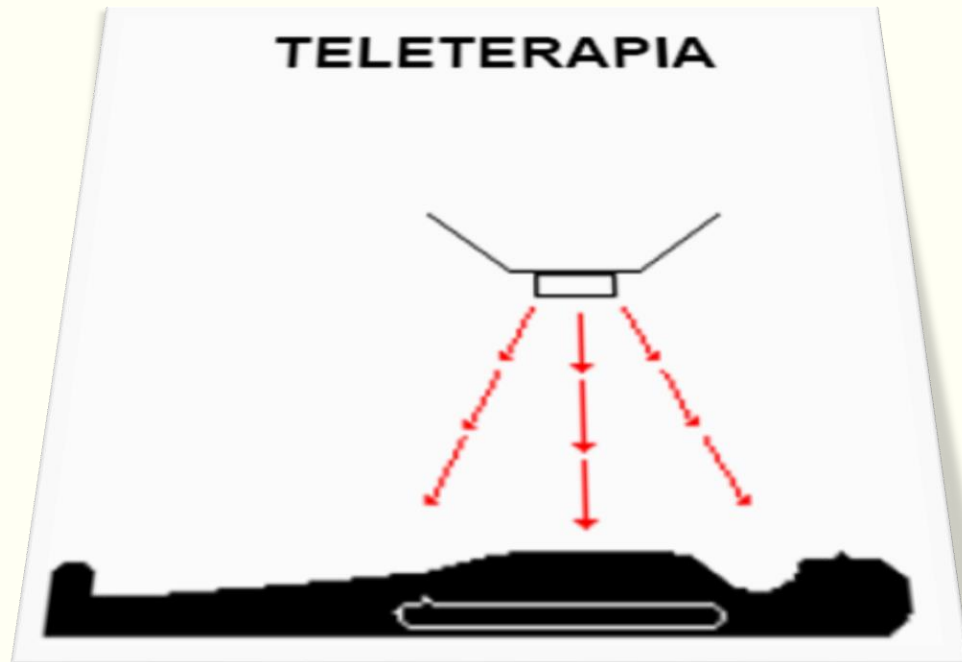
## □ O que é radioterapia?

*É um tratamento empregado no combate ao câncer, que utiliza a radiação ionizante para destruir células tumorais ou impedir que elas se multipliquem.*



# Histórico da radioterapia

---



# Histórico da radioterapia

---

- ❑ **Teleterapia**, nem a fonte de radiação nem o aparelho que a emite ficam em contato direto com o paciente. Por isso, a radiação atinge, além do tumor, todos os órgãos e tecidos que estiverem no caminho.
- ❑ **Braquiterapia**, a fonte de radiação é colocada no interior do paciente, na região que deve receber o tratamento. É uma espécie de implante radioativo. Sendo assim, o tumor recebe altas doses; enquanto que os tecidos sadios vizinhos, doses pequenas.

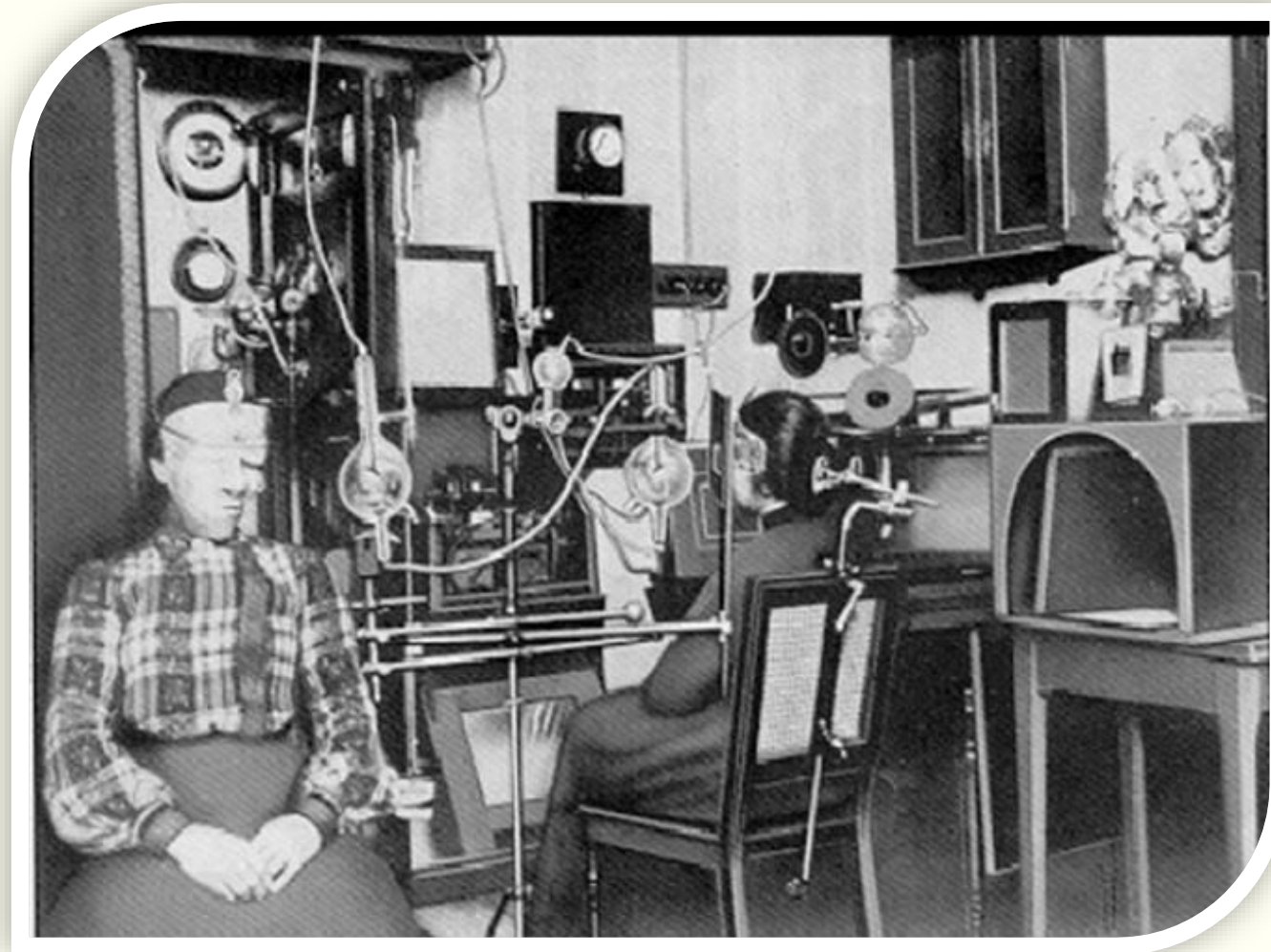
# Histórico da radioterapia

---

- ❑ **1895:** Primeira tentativa de tratar uma recidiva local de um carcinoma de mama por Emil Grubbé (Chicago), com raios X; (1 h de exposição por 18 dias). Obteve alguma melhora mas faleceu devido a metástases;
- ❑ **1896:** Primeiro uso dos raios X para câncer de estômago por Victor Despeignes (Lyon – França);
- ❑ **1898:** Marie e Pierre Curie: descoberta do polônio e do rádio;
- ❑ **1900:** Primeiro uso terapêutico do rádio para braquiterapia de pele pelo Dr. Danlos (Hospital Saint-Louis - Paris);
- ❑ **1906:** relacionado o tempo de exposição com a corrente (mA), gerando padronização do tratamento. Antes administrava-se tanta dose de radiação quanto se julgava o paciente ser capaz de suportar. O limite da dose era, geralmente, estabelecido pela tolerância da pele (dose eritema).

# Histórico da radioterapia

---





# Histórico da radioterapia

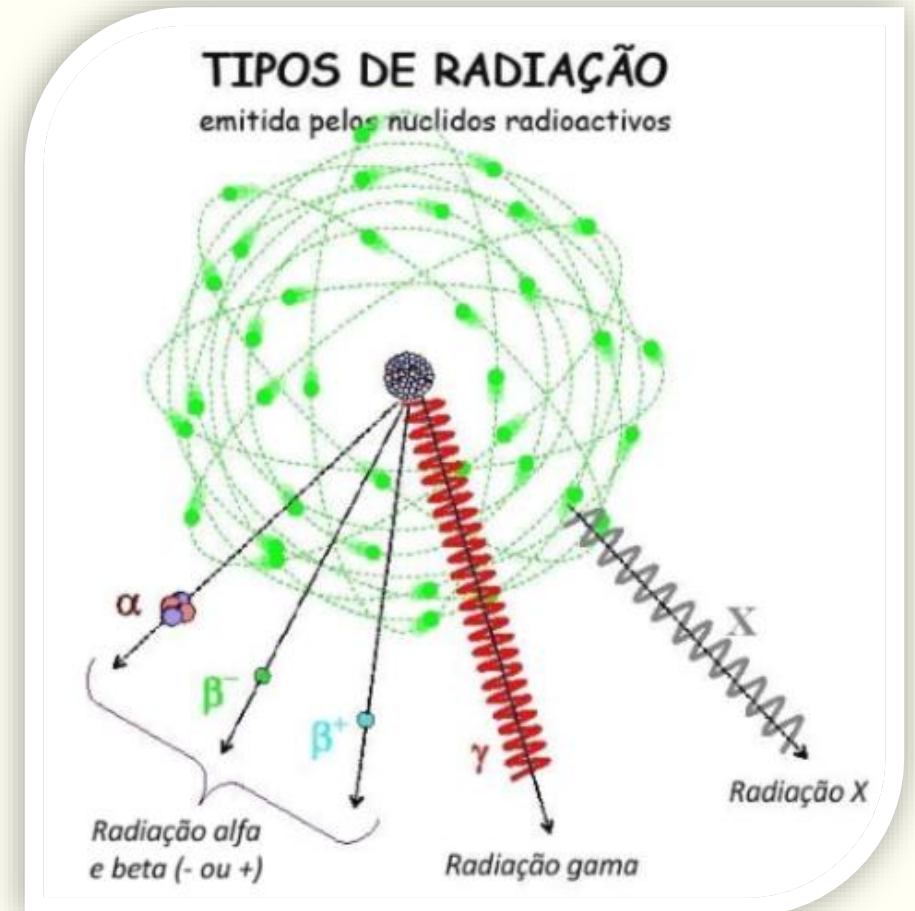
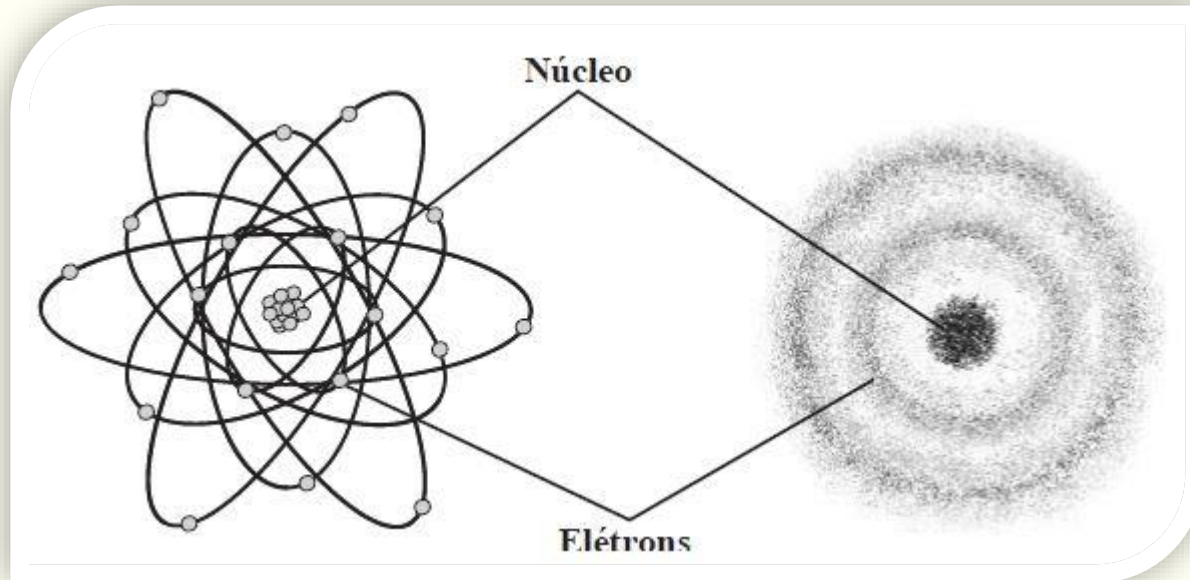
---

- **Década de 30:** Marie Curie morre de câncer radioinduzido (1934);
- **Década de 40:** principais avanços da radioterapia: aparelhos até 300 kVp, produção de novos radionuclídeos (ex.:  $^{60}\text{Co}$ ) e desenvolvimento dos aceleradores lineares.
- **Década de 50:** “Bombas” de  $^{60}\text{Co}$  e  $^{137}\text{Cs}$ . Desenvolvimento clínico e radiobiológico (Manchester, Paris, Estocolmo e Nova Iorque) - Esse acontecimento constituiu-se em uma revolução no emprego de radioterapia pela possibilidade de tratar lesões profundas sem efeitos significativos sobre a pele. Nessa época houve grande desenvolvimento e popularização dos aparelhos de cobalto terapia;
- **Década de 60 e 70:** houve uma grande diminuição da popularidade da braquiterapia, por causa da ideia errônea de que a teleterapia poderia curar tudo.
- **Década de 80:** Começou a se fazer uso de computadores, da tomografia computadorizada e da ressonância magnética, melhorando a exatidão da braquiterapia com uma melhor delimitação dos tecidos normais e neoplásicos.



# Fundamentos de física aplicados a radioterapia

## ☐ Estrutura da matéria e transformações nucleares



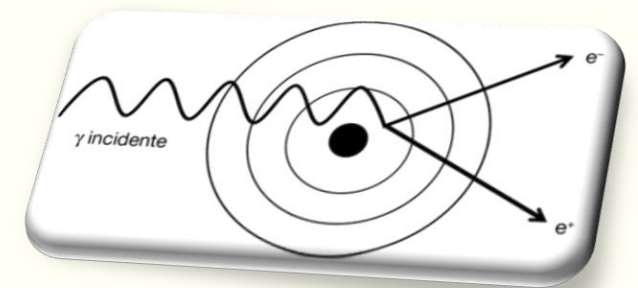
# Interação da radiação com a matéria

---

- ☐ Interação de fótons
  - Efeito fotoelétrico
  - Efeito Compton
  - Produção de par

- ☐ Interação de partículas carregadas
  - Elétrons
  - Pósitrons
  - Prótons

- ☐ Interação de nêutrons



# Fundamentos de física aplicados a radioterapia

---

## □ Grandezas e unidades radiológicas na radioterapia

- ❖ A caracterização quantitativa e precisa das radiações ionizantes e seus possíveis efeitos requer o uso de um conjunto de grandezas com suas unidades correspondentes.
- ❖ Tanto a Comissão Internacional de Unidades e Medições de Radiação (ICRU) como a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) são responsáveis pela definição formal de grandezas e unidades no campo de dosimetria de radiação e proteção radiológica, respectivamente, para uma aplicação segura e eficiente de radiações ionizantes para terapia, diagnóstico e radioproteção de indivíduos e da população.

# Fundamentos de física aplicados a radioterapia

---

## □ Grandezas e unidades radiológicas na radioterapia

- ❖ **Grandezas radiométricas** são as grandezas utilizadas para a especificação dos campos de radiação e referem-se ao número e à energia das partículas ionizantes que compõem os referidos campos, juntamente com suas distribuições espaciais e temporais. Ex.: fluência ( $\phi$ ) e fluência de energia ( $\psi$ ).
- ❖ **Grandezas dosimétricas** foram introduzidas para fornecer uma medida física que se correlaciona com os efeitos reais ou potenciais da radiação interagindo com a matéria. Grandezas normalmente medidas diretamente. Ex.: Kerma (K), Exposição (X) e dose absorvida (D).
- ❖ **Grandezas de radioatividade** refere-se aos fenômenos associados às transformações espontâneas envolvendo mudanças nos núcleos ou na estrutura da camada dos átomos, ou ambos. A energia liberada nestas transformações é emitida como partículas (elétrons, pósitrons, partículas alfa) ou como fótons, ou como ambos. Ex.: Atividade (A).
- ❖ **Grandezas de radioproteção** definidas pela necessidade em relacionar a dose de radiação com o risco associado a ela (detrimento), não só os efeitos físicos, mas também a eficácia biológica das radiações de natureza diferente bem como a diferença na sensibilidade de diferentes órgãos e tecidos à radiação ionizante. Ex.: Limitantes – Dose equivalente ( $H_T$ ) e Efetiva (E) e operacionais – Equivalente de dose ambiental ( $H^*(d)$ ) e Equivalente de dose pessoal  $H_p(d)$ .

# Fundamentos de física aplicados a radioterapia

---

## ☐ Sistemas de dosimetria em radioterapia

- ❖ No contexto hospitalar, o objetivo da detecção de radiação é, em última instância, conhecer os efeitos da radiação no corpo humano. Assim sistemas de dosimetria devem ser utilizados em radioterapia para medir a dose absorvida ajustada, para dosimetria in vivo e para medições de caracterização do feixe de radiação.
- ❖ Os sistemas usados em radioterapia para estes fins utilizam:
  - Câmaras de ionização de várias geometrias para medição de feixes de fótons e elétrons bem como medição de taxa de Kerma em braquiterapia com grande precisão e exatidão nas medições;
  - Semicondutores para a dosimetria in vivo e na caracterização do feixe de radiação em aceleradores lineares;
  - Dosímetros para medição de dose e verificação do tratamento dos pacientes e dosimetria do feixe de radiação.

# Câncer o que é esta patologia

---

- ❑ Atualmente, o câncer é um dos problemas de saúde pública mais complexos que o sistema de saúde brasileiro enfrenta, dada sua magnitude epidemiológica, social e econômica. Ressalta-se que pelo menos um terço dos casos novos de câncer que ocorre anualmente no mundo poderia ser prevenido.
- ❑ Doença é caracterizada por uma população de células que cresce e se divide sem respeitar os limites normais, invadem e destroem tecidos adjacentes, e podem se espalhar para lugares distantes no corpo, através de um processo chamado metástase.
- ❑ Estas propriedades malignas do câncer o diferenciam dos tumores (neoplasias) benignos, que são auto limitados em seu crescimento e não invadem tecidos adjacentes (embora alguns tumores benignos sejam capazes de se tornarem malignos. Ex.: pólipos intestinais).

# Câncer o que é esta patologia

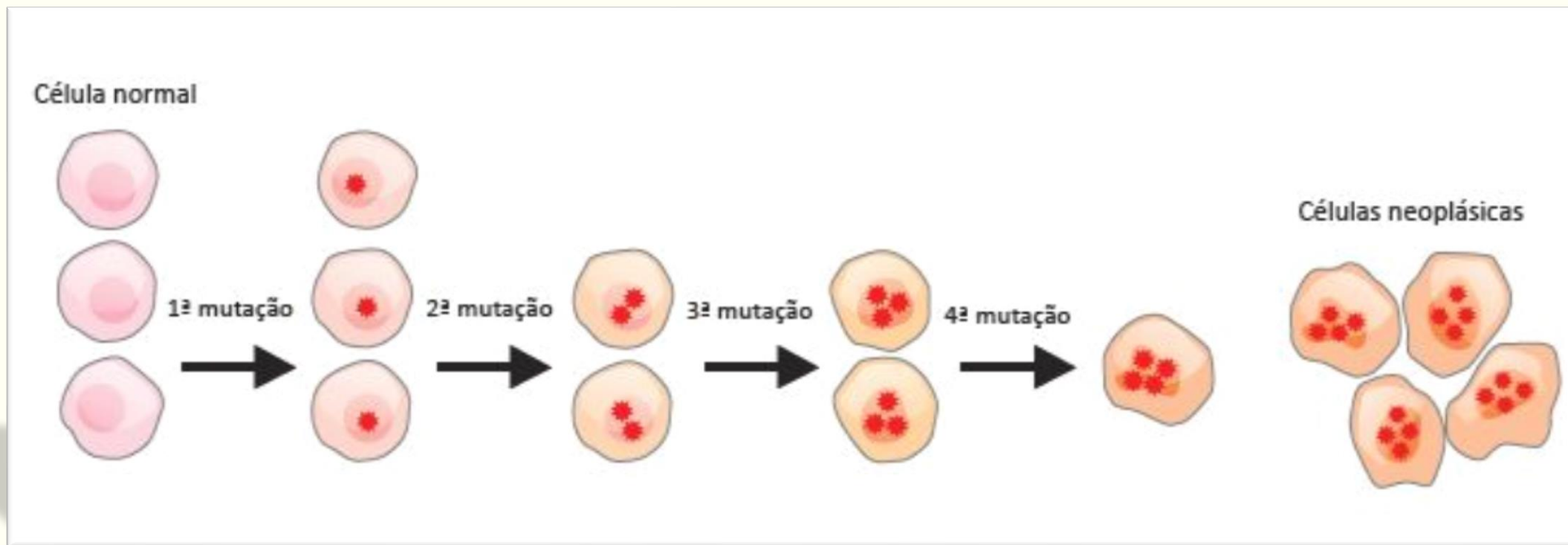
---

- ❑ O câncer é fundamentalmente uma doença genética. Quando o processo neoplásico se instala, a célula-mãe transmite às células filhas a característica neoplásica.
- ❑ É importante ressaltar que uma única mutação na célula não é suficiente para causar um câncer. Se, a cada mutação, as células do nosso corpo se tornassem cancerosas, a espécie humana não seria viável.
- ❑ O processo de formação do câncer é chamado de **carcinogênese** ou **oncogênese** e, em geral, acontece lentamente, podendo levar vários anos para que uma célula cancerosa prolifere-se e dê origem a um tumor visível. Os efeitos cumulativos de diferentes agentes cancerígenos ou carcinógenos são os responsáveis pelo início, promoção, progressão e inibição do tumor. A carcinogênese é determinada pela exposição a esses agentes, em uma dada frequência e em dado período de tempo, e pela interação entre eles.



# Câncer o que é esta patologia

---



Mutação e Câncer

# Câncer o que é esta patologia

---

- ❑ A presença dos agentes cancerígenos, por si só, não pode ser responsabilizada pelo desenvolvimento dos tumores. Há, porém, casos em que isso acontece.
- ❑ Sabe-se que a exposição prolongada à substância química **benzina** pode aumentar o risco de produzir câncer na bexiga (principal tipo de câncer encontrado em trabalhadores das antigas indústrias de tintas, couros, borracha e papel que utilizavam benzina na sua fabricação) e o câncer de pulmão, que ocorre entre fumantes, em mais de 90% dos casos é consequência do **tabagismo** crônico.

# Câncer o que é esta patologia

---

- ❑ O número de casos novos de câncer cresce a cada ano. Para 2016/2017, a estimativa do Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva (INCA) é a ocorrência de **596.070** casos novos de câncer no Brasil para cada um desses anos.
- ❑ A estimativa de casos novos de câncer pode ser analisada sob dois diferentes aspectos: por localização primária do tumor ou por região geográfica.
- ❑ Atualmente, registra-se o aumento da incidência de cânceres associados ao melhor nível sócio econômico – mama, próstata e cólon e reto – ao mesmo tempo em que se observam taxas de incidência elevadas de tumores geralmente associados a condições sociais menos favorecidas – colo do útero, estômago, cabeça e pescoço.

# Câncer o que é esta patologia

---

- ❑ **Radiossensibilidade:** É o grau e a velocidade de resposta dos tecidos à irradiação. Segundo Tribodeau e Bergonier a radiossensibilidade está associada à atividade mitótica da célula: por um lado, quanto mais indiferenciado e proliferativo o tecido, mais sensível à irradiação e, por outro, quanto mais diferenciado e estável, mais resistente. A radiossensibilidade também depende da origem do tecido: quanto mais sensível o tecido original, mais sensível o tecido derivado.
- ❑ **Radiocurabilidade:** A possibilidade real de controlar um tumor com radioterapia, depende de fatores que vão desde a sensibilidade intrínseca do tumor e do seu volume, até ao estado geral do doente, que faz variar a capacidade de recuperação dos tecidos normais. A localização tumoral nas imediações de estruturas vitais com baixa tolerância às radiações impede a administração de doses tumoricidas.

# Câncer o que é esta patologia

---

## ☐ Radiossensibilidade e Radiocurabilidade

- ❖ É muito difícil estabelecer uma relação de causalidade entre radiossensibilidade e radiocurabilidade.
- ❖ Tumores de resposta tardia à irradiação, isto é, de regressão lenta após serem irradiados, podem desaparecer após certo tempo de tratamento (tumores de próstata) e tumores agudamente responsivos podem repopular rapidamente após uma "resposta completa" (carcinomas indiferenciados de pulmão).
  - Carcinomas são os cânceres que se originam nas células epiteliais (células que formam a superfície externa do corpo, delineiam as cavidades corporais e os principais tubos e passagens que levam ao exterior do corpo) - Ex: carcinoma estomacal (câncer gástrico), carcinoma basocelular (70% dos diagnósticos de câncer de pele);

# Câncer o que é esta patologia

---

## ☐ Radiossensibilidade e Radiocurabilidade

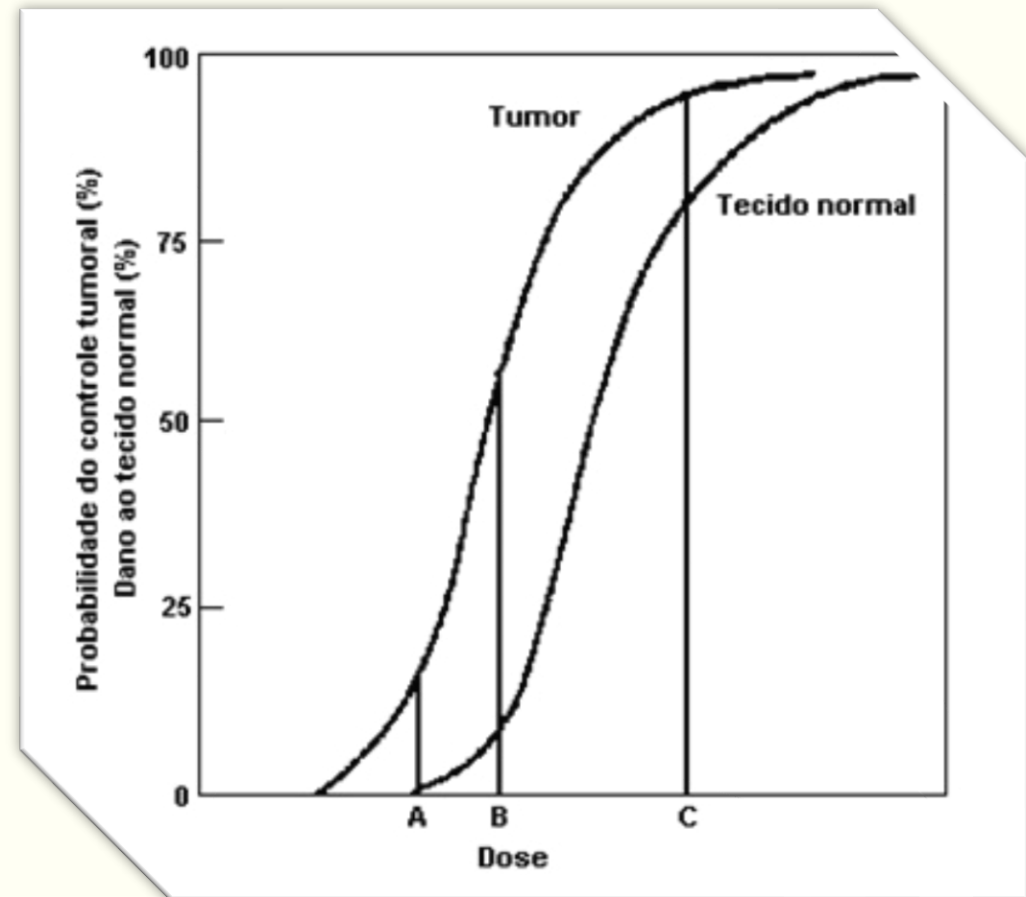
- ❖ Os tecidos normais tendem a repopular as regiões irradiadas com mais facilidade que os tumorais, embora os tumores também o façam.
- ❖ Como existem muito mais tecidos sãos do que tumorais nas regiões irradiadas, esta característica favorece o tratamento.
- ❖ Tecidos normais tendem a se recuperar entre duas aplicações, desde que haja um intervalo de horas, enquanto que os tumorais tendem a demorar mais ou não o fazem.

# Câncer o que é esta patologia

---

## □ Radiossensibilidade e Radiocurabilidade

- ❖ Comparação entre a probabilidade de controle tumoral e os danos ao tecido normal para diferentes doses aplicadas.





# Câncer o que é e o tamanho do problema

Estimativas, para o ano 2008, das taxas brutas de incidência por 100 mil e de número de casos novos por câncer, em homens, segundo localização primária.\*

Localização Primária Neoplasia maligna	Estimativa dos Casos Novos			
	Estado		Capital	
	Casos	Taxa Bruta	Casos	Taxa Bruta
Próstata	49.530	52,43	13.990	67,81
Traquéia, Brônquio e Pulmão	17.810	18,86	5.150	24,91
Estômago	14.080	14,92	3.590	17,42
Cólon e Reto	12.490	13,23	4.360	20,99
Cavidade Oral	10.380	11,00	3.000	14,45
Esôfago	7.900	8,35	1.640	7,84
Leucemias	5.220	5,52	1.460	7,06
Pele Melanoma	2.950	3,09	830	3,80
Outras Localizações	55.610	58,87	17.010	82,32
<b>Subtotal</b>	<b>175.970</b>	<b>186,29</b>	<b>51.030</b>	<b>246,97</b>
Pele não Melanoma	55.890	59,16	13.230	64,02
<b>Todas as Neoplasias</b>	<b>231.860</b>	<b>245,47</b>	<b>64.260</b>	<b>310,93</b>

\*Números arredondados para 10 ou múltiplos de 10.

# Câncer o que é e o tamanho do problema

Estimativas, para o ano 2008, das taxas brutas de incidência por 100 mil e de número de casos novos por câncer, em mulheres, segundo localização primária.\*

Localização Primária Neoplasia maligna	Estimativa dos Casos Novos			
	Estado		Capital	
	Casos	Taxa Bruta	Casos	Taxa Bruta
Mama Feminina	49.400	50,71	17.400	76,04
Colo do Útero	18.680	19,18	5.620	24,49
Cólon e Reto	14.500	14,88	5.450	23,80
Traquéia, Brônquio e Pulmão	9.460	9,72	3.070	13,49
Estômago	7.720	7,93	2.380	10,30
Leucemias	4.320	4,44	1.340	5,89
Cavidade Oral	3.780	3,88	1.140	4,83
Pele Melanoma	2.970	3,03	930	3,69
Esôfago	2.650	2,72	620	2,30
Outras Localizações	62.270	63,93	22.530	98,39
<b>Subtotal</b>	<b>175.750</b>	<b>180,43</b>	<b>60.480</b>	<b>264,11</b>
Pele não Melanoma	59.120	60,70	14.140	61,73
<b>Todas as Neoplasias</b>	<b>234.870</b>	<b>241,09</b>	<b>74.620</b>	<b>325,77</b>

\*Números arredondados para 10 ou múltiplos de 10.

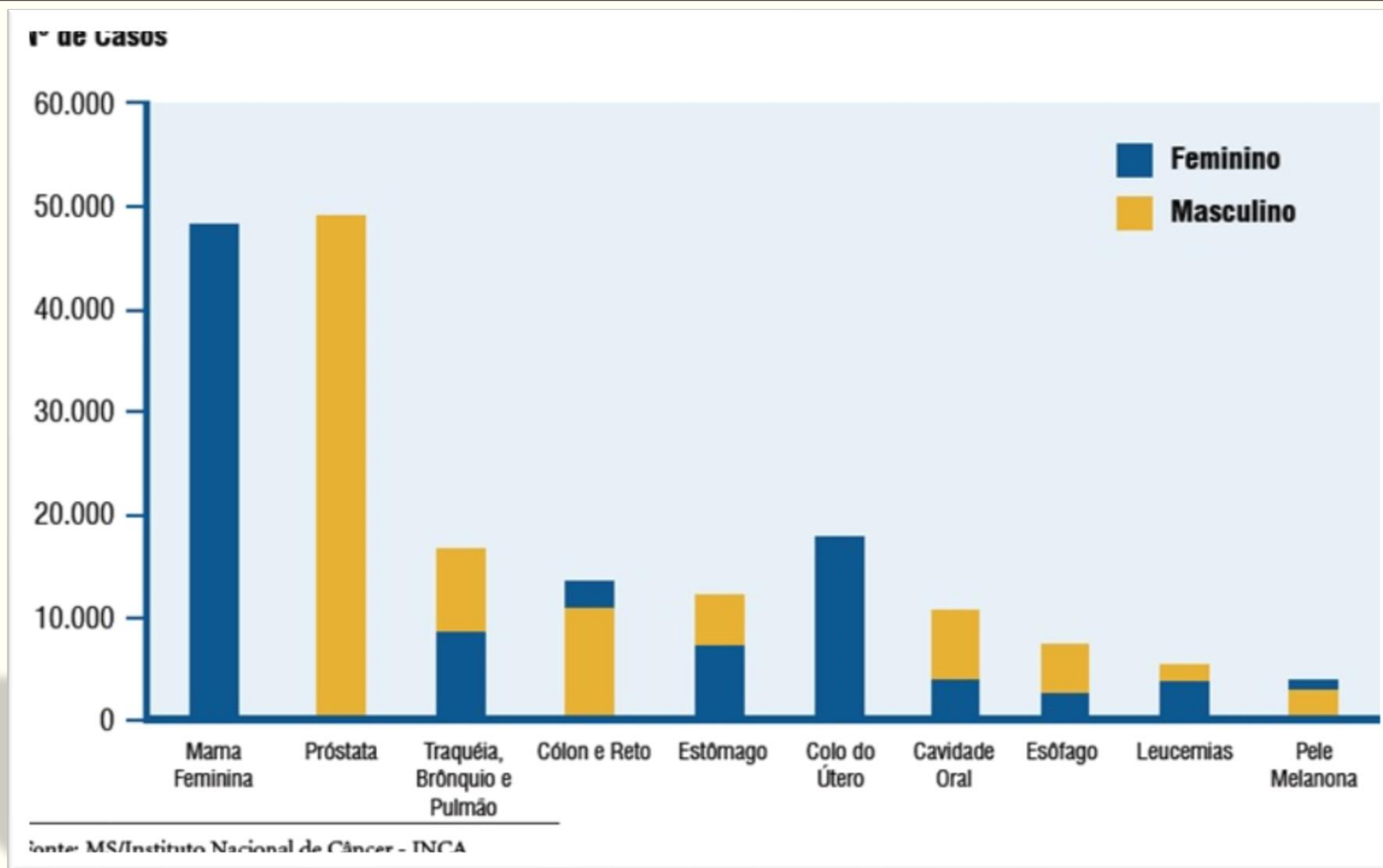
# Câncer o que é e o tamanho do problema

Homens		Mulheres	
Próstata	61,82	Mama feminina	56,20
Traqueia, brônquios e pulmões	17,49	Cólon e reto	17,10
Cólon e reto	16,84	Colo do útero	15,85
Estômago	13,04	Traqueia, brônquios e pulmões	10,54
Cavidade oral	11,27	Estômago	7,37
Esôfago	8,04	Corpo do útero	6,74
Bexiga	7,26	Ovário	5,95
Laringe	6,43	Glândula tireoide	5,70
Leucemias	5,63	Linfoma não Hodgkin	4,88
Sistema Nervoso Central	5,50	Sistema Nervoso Central	4,68
Linfoma não Hodgkin	5,27	Leucemias	4,38
Pele melanoma	3,03	Cavidade oral	4,21
Linfoma de Hodgkin	1,46	Esôfago	2,76
Glândula tireoide	1,08	Pele melanoma	2,59
		Bexiga	2,39
		Laringe	0,94
		Linfoma de Hodgkin	0,93

Thuler e Da Silva, 2016

Taxas de incidência das localizações primárias, exceto pele não melanoma, por sexo, estimadas para 2016, no Brasil .

# Câncer o que é e o tamanho do problema



Tipos de câncer mais incidentes, estimados para o ano de 2008, na população brasileira, sem pele não melanoma

# Câncer o que é esta patologia

---

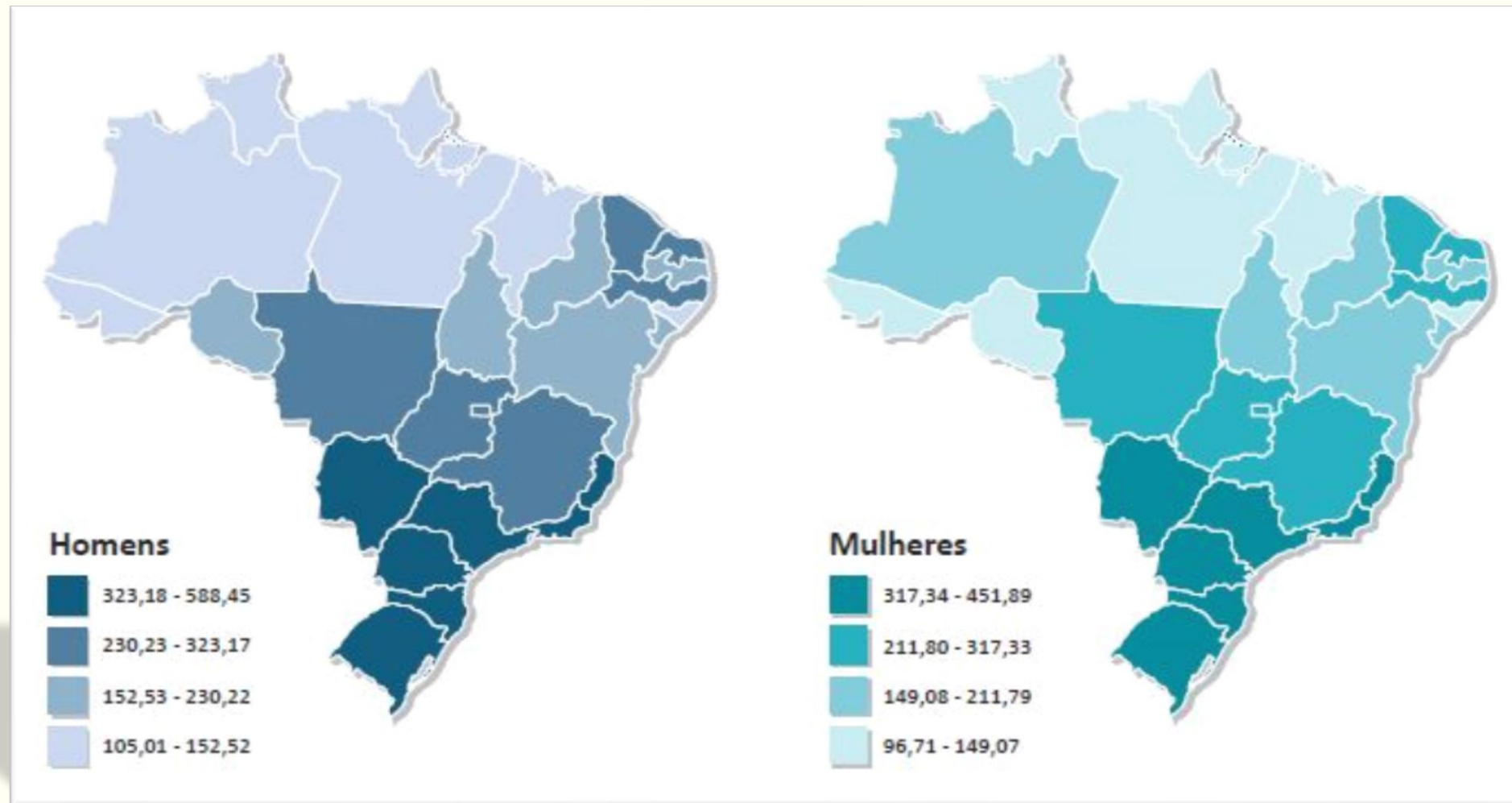
- ❑ As estimativas de câncer da tabela são de grande importância.
- ❑ A partir delas, ações para o controle dos tipos de câncer mais esperados podem ser planejadas e, tanto os serviços de saúde quanto os profissionais em saúde, podem se preparar para oferecer as diversas modalidades de atendimento à população.

Região	Estimativas de casos novos
Sudeste	291.090 (48,8%)
Sul	131.880 (22,1%)
Nordeste	107.180 (18%)
Centro-Oeste	44.430 (7,5%)
Norte	21.490 (3,6%)
<b>BRASIL</b>	<b>596.070 (100%)</b>



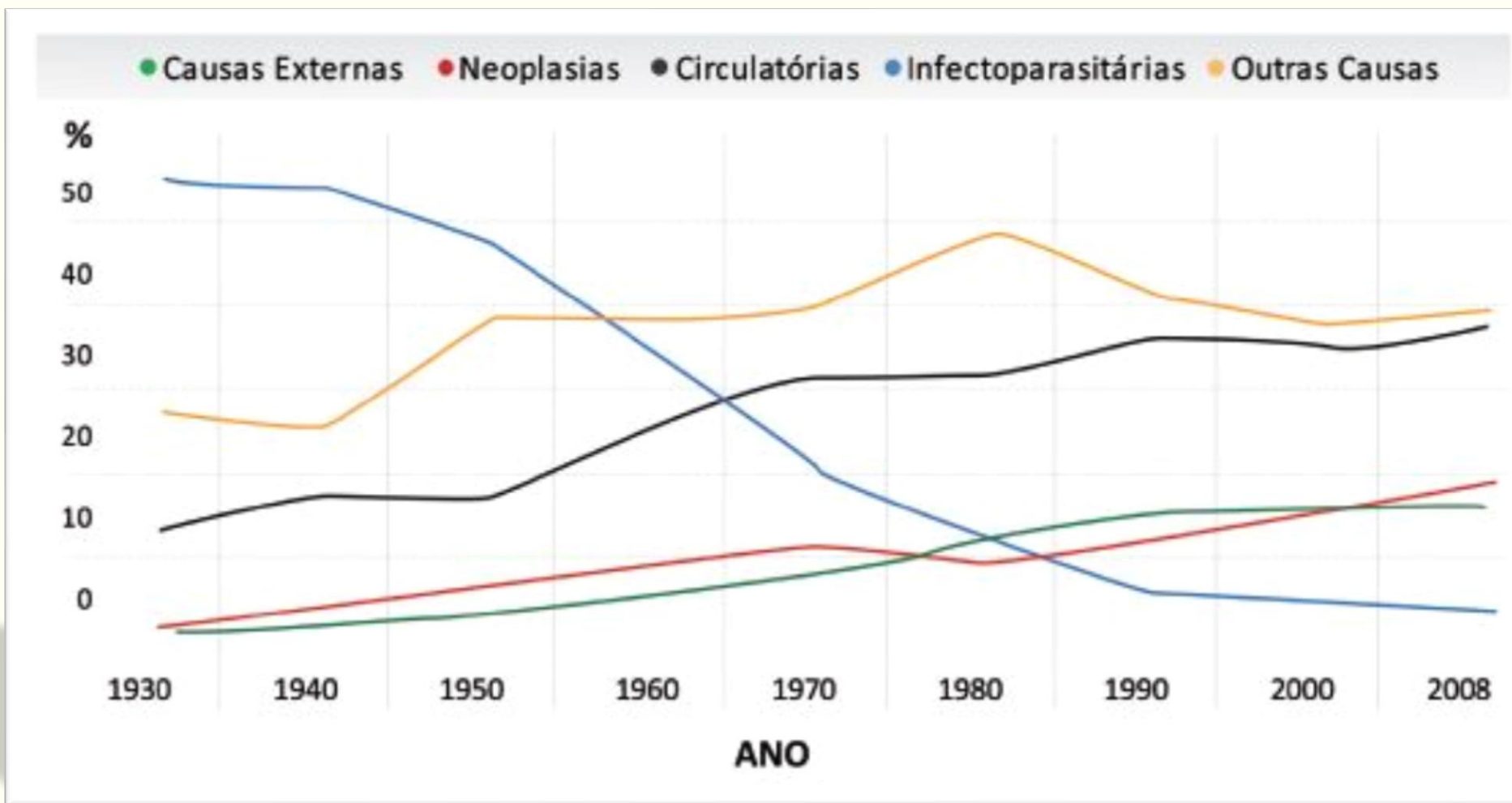
# Câncer o que é esta patologia

---



Taxas brutas de incidência por 100 mil homens e 100 mil mulheres, estimadas para o ano 2016, segundo a Unidade da Federação para todas as neoplasias

# Câncer o que é esta patologia

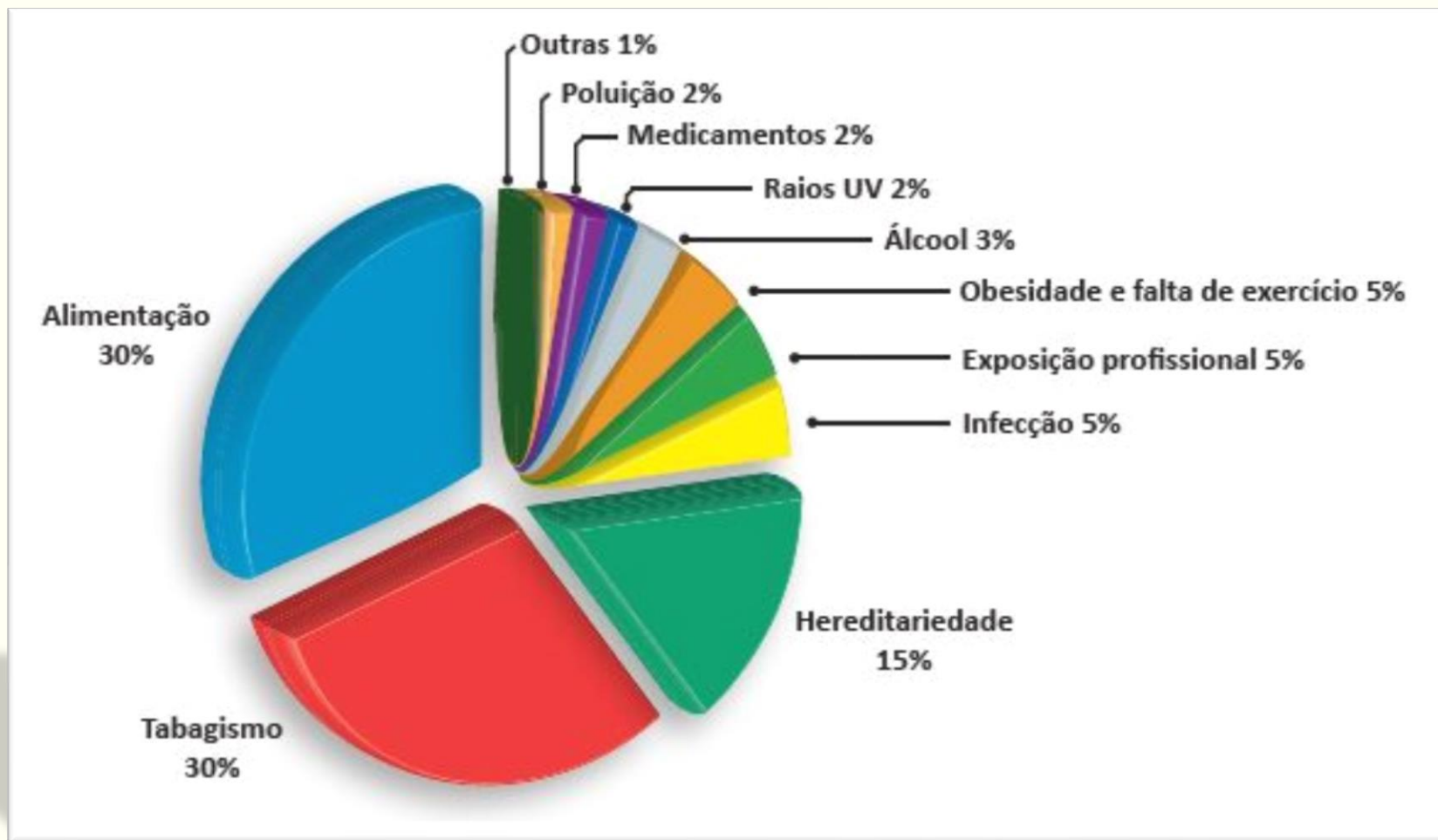


Distribuição proporcional das causas de morte, Brasil, de 1930 a 2013



# Câncer o que é esta patologia

---



Estatística sobre as principais causas de câncer

# Equipamento radioterápico - Simulador

---

- ❑ A simulação é um dos estágios mais complexos da atividade de radioterapia. Pode-se dizer que o tipo de simulação utilizado condiciona o resto do processo de radioterapia.
- ❑ Inicialmente, a simulação foi desenvolvida, entre outras coisas, para verificar o tratamento, de modo a garantir que os feixes foram corretamente escolhidos e direcionados para o volume alvo. Atualmente, a simulação tem um papel mais amplo no processo de radioterapia, e seus objetivos são três:
  1. A definição de volume do tumor (posição, tamanho e situação em relação a outros órgãos).
  2. A aquisição dos dados geométricos do paciente (imagens) com as características de absorção precisas (densidades e composição dos tecidos) para realizar o cálculo dosimétrico.
  3. Fornecer referências informativas (tatuagens, marcas) da posição do paciente que permitem a sua colocação no momento do tratamento com perfeita reprodutibilidade em relação ao momento em que foram adquiridas na simulação.

# Equipamento radioterápico - Simulador

---

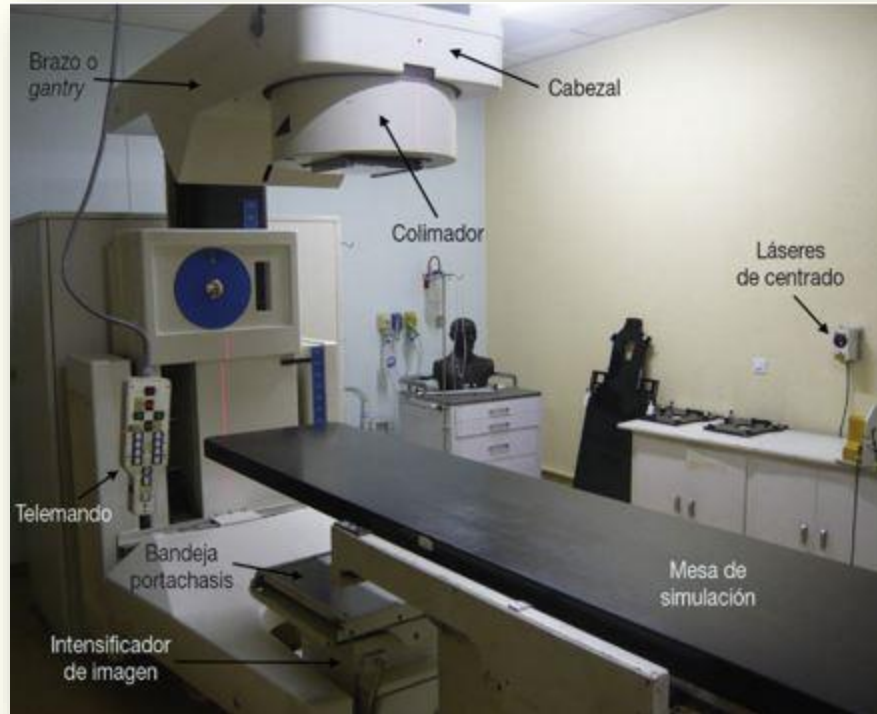
- ❑ A definição do volume de tratamento (tamanho, forma e localização anatômica) requer que seja realizada com extrema precisão.
- ❑ Para este fim, estudos de imagem adicionais que fornecem mais informações podem ser necessários. Esses estudos de imagem adicionais são por ressonância magnética, tomografia por emissão de pósitrons ou angiografia.
- ❑ Os equipamentos de simulação mais utilizados são: simuladores convencionais e simuladores TC.

# Equipamento radioterápico – Simulador Convencional

---

- ❑ Esses tipos de simuladores em desuso, sendo substituídos por simuladores TC que fornecem mais informações, além do fato de que geralmente não podem simular os colimadores multilâminas dos aceleradores modernos.
- ❑ O simulador convencional consiste em um equipamento de RX com qualidade diagnóstica, trabalhando em modo grafia e escopia, com uma estrutura que permite realizar movimentos idênticos e selecionar tamanhos de campo iguais aos que podem fazer ou obter qualquer máquina de teleterapia isocêntrica, seja uma unidade de  $^{60}\text{Co}$  ou um acelerador linear de elétrons.
- ❑ Nele existem dois sistemas de colimação, que delimitam e visualizam a região de interesse do paciente com o feixe de raios X e um outro (virtual) formado por algumas lâminas ou fios metálicos radiopacos, cuja função é simular o que pretendemos que seja o feixe do tratamento, como é mostrado pela presença dos fios metálicos na imagem gerada (figura no slide 27).

# Equipamento radioterápico – Simulador Convencional



Componentes principais de um simulador convencional



Simulação radiográfica em que a projeção do fio metálico que simula a colimação do campo de tratamento pode ser observada. O colimador primário de simulação define a área do campo de raios-X.

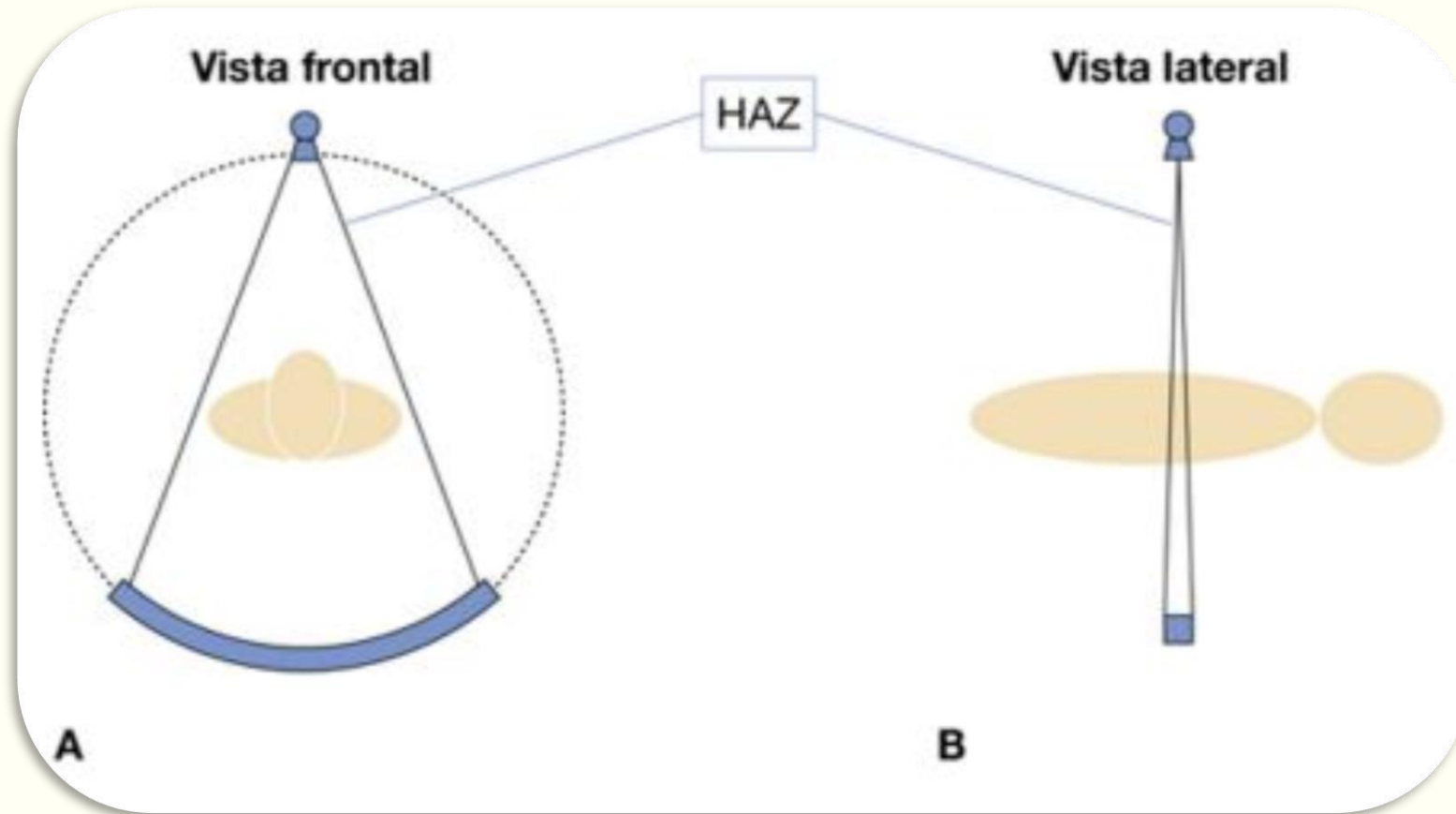
# Equipamento radioterápico – Simulador TC

---

- ❑ Simulator formado por um equipamento de TC adaptado (mesa plana, diâmetro de gantry aumentado e sistema de laser externo) capaz de reconstruir imagens volumétricas do interior do paciente, e por um simulador virtual que é um programa de computador para reproduzir os movimentos da máquina de tratamento e, ao mesmo tempo, trabalhar com as imagens de TC do paciente.
- ❑ Estas imagens 3D servirão para definir com grande precisão a lesão e os órgãos de risco, e realizar um desenho ideal do tratamento.
- ❑ Hoje, as imagens do simulador TC apresentam grandes vantagens em comparação com as fornecidas pelo simulador convencional, motivo pelo qual está sendo colocado fora de uso.

# Equipamento radioterápico – Simulador TC

---

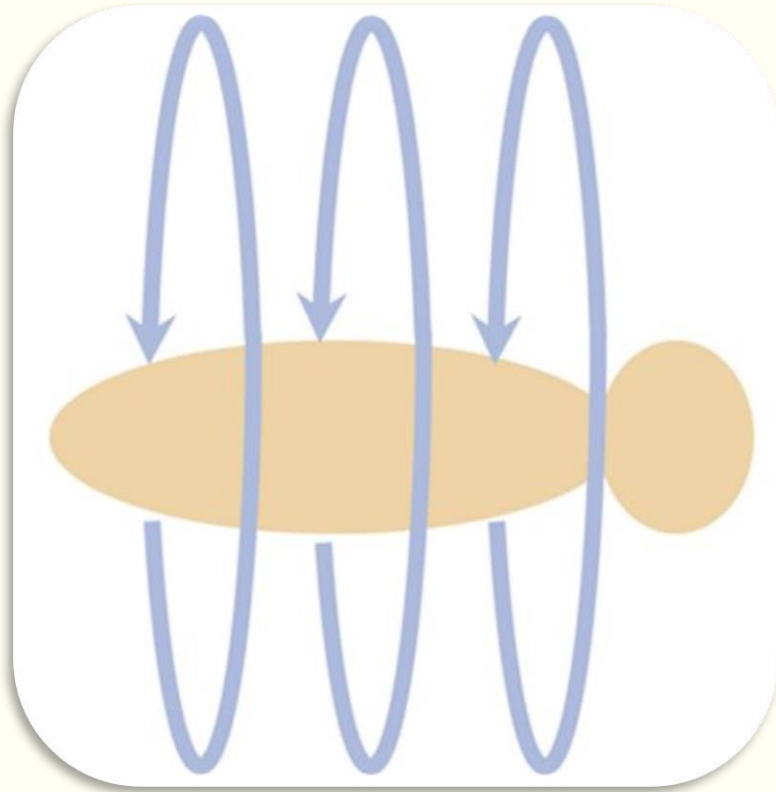


Geometria do feixe de raios X em TC

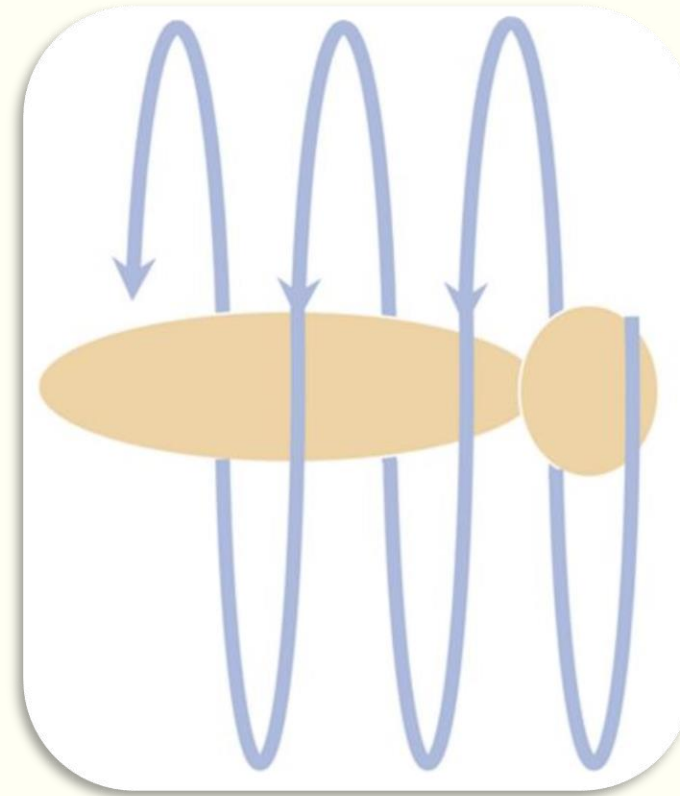


# Equipamento radioterápico – Simulador TC

---



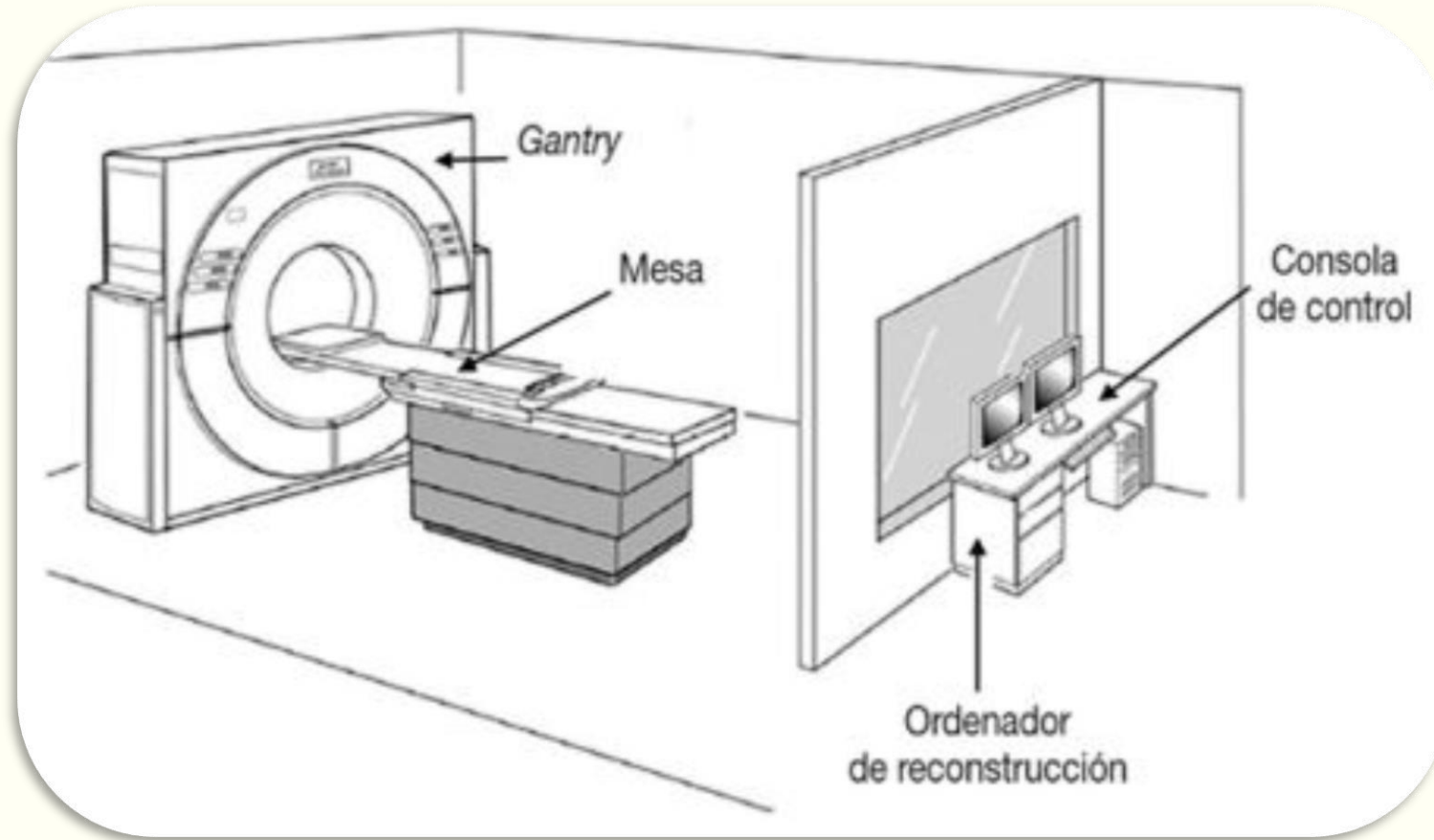
Aquisição sequencial



Aquisição helicoidal

# Equipamento radioterápico – Simulador TC

---



Componentes principais de um TC

# Equipamento radioterápico – Simulador TC

---

□ Links de vídeos sobre simuladores para radioterapia

❖ [https://youtu.be/6cWNxP\\_uWHg](https://youtu.be/6cWNxP_uWHg)

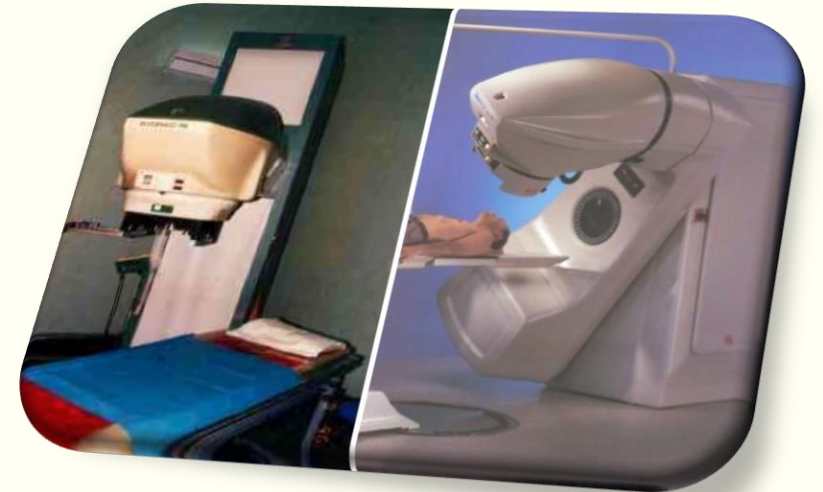
❖ <https://youtu.be/-J8UBVaNEUk>

❖ [https://youtu.be/ylnUxX\\_P-ow](https://youtu.be/ylnUxX_P-ow)

# Equipamentos de tratamento em teleterapia

---

- ❑ Objetivos
- ❑ Evolução histórica
- ❑ Equipamentos de terapia superficial
- ❑ Equipamentos com uso de  $^{60}\text{Co}$
- ❑ Aceleradores lineares de elétrons
- ❑ Aceleradores circulares de partículas



# Equipamentos de tratamento em teleterapia

---

## ❑Objetivos

- ❖A teleterapia refere-se à técnica radioterapêutica em que a radiação ionizante vem de uma fonte externa ao paciente. O objetivo principal é administrar uma dose terapêutica ao volume prescrito, minimizando o máximo possível as doses para os órgãos de risco.

## ❑As unidades de tratamento de teleterapia devem atender a vários requisitos:

- ❖Precisão geométrica: essencial para garantir que áreas não previstas no planejamento dosimétrico realizado pelo serviço de física médica não sejam irradiadas.
- ❖Precisão dosimétrica: deve-se garantir que a dose dada pela unidade mantenha um registro dentro de tolerâncias admissíveis, uma vez que não seria possível mostrar variações excessivas ao longo do tratamento.



# Equipamentos de tratamento em teleterapia

---

## □Evolução histórica

- ❖ Até 1940 tinha-se pouca opção de escolha no tipo de fonte de radiação que era usado 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, poucos centros médicos tinham unidades de 400 kVp;
- ❖ Após a II Guerra Mundial vários desenvolvimentos significativos foram feitos nas máquinas de terapia.
- ❖ Nos anos 1950 os aceleradores lineares de elétrons começaram a ser instalados com energias crescentes, atingindo os 8 MeV. Também nesses anos surgem os primeiros aceleradores de prótons.



# Equipamentos de tratamento em teleterapia

---

## □Evolução histórica

- ❖Ao mesmo tempo, entre 1950 e 1970, o uso da emissão gama de cobalto-60 foi ampliado, e as chamadas unidades de cobalto-60 foram configuradas, máquinas capazes de girar para direcionar feixes de radiação em qualquer direção dentro do mesmo plano, usado para tratamentos de teleterapia.
- ❖Na década de 1970, graças à miniaturização de certos componentes, são introduzidos os primeiros aceleradores lineares de elétrons isocêntricos, isto é, com uma fonte de radiação que pode se mover ao redor do paciente. Os primeiros aceleradores lineares multienergéticos também aparecem.
- ❖A introdução do colimador de multilâminas, décadas de 1980 e 1990, permitiu o desenvolvimento de novas técnicas de tratamento, como a radioterapia de intensidade modulada (IMRT) em 1997.





# Equipamentos de tratamento em teleterapia

---

## □ Equipamentos de terapia superficial

- ❖ Um dispositivo de terapia superficial consiste basicamente de um gerador e um tubo de raios X. Sua principal característica é a possibilidade de administrar uma dose de radiação somente nas camadas mais superficiais da pele ou próximo a ela, de modo que os tecidos mais profundos estão expostos a uma dose muito baixa de radiação.
- ❖ Seu uso foi reduzido após a introdução de modernos aceleradores lineares de elétrons multienergéticos que também permitem o tratamento da pele com radiação de elétrons. No entanto, nos últimos anos, eles experimentaram um ressurgimento devido ao seu menor custo.



# Equipamentos de tratamento em teleterapia

---

## □ Equipamentos de terapia superficial

- ❖ Dado o seu baixo poder de penetração, isto é, uma vez que a energia dos fótons é depositada em poucos milímetros abaixo da superfície da pele, estes equipamentos são usados para tratar lesões cutâneas.
- ❖ No slide a seguir a figura A mostra um equipamento com essas características, com o colimador de tratamento. A função do colimador figura B é focar o feixe de raios X na área a ser tratada, para que a radiação que chega fora do colimador seja mínima. Se for necessário proteger áreas adicionais e o colimador não for suficiente, a colimação da pele figura C é obtida usando lâminas de chumbo com alguns milímetros de espessura de acordo com as necessidades do gabinete.



# Equipamentos de tratamento em teleterapia

## □ Equipamentos de terapia superficial

- ❖ Considerando a tensão aplicada, é tradicional classificar os diferentes equipamentos como:
  - Kilovoltagem: 50-150 kV.
  - Ortovoltagem: 150-500 kV..
  - Megavoltagem: mais de 1.000 kV (> 1 MV);
- ❖ Este último é o caso dos modernos aceleradores de elétrons lineares.
- ❖ Na radioterapia de superfície, a voltagem do equipamento comercializado está geralmente na faixa de 50 a 300 kV, ou seja, inclui equipamentos de quilovoltagem e ortovoltagem.



# Equipamentos de tratamento em teleterapia

---

## □ Equipamentos com uso de $^{60}\text{Co}$ – Histórico e evolução

- ❖ Os equipamentos de cobaltoterapia desempenharam um papel fundamental no processo de evolução técnica da radiação externa.
- ❖ O surgimento do cobalto 60 veio solucionar limitações e viabilizar técnicas de tratamento que consagraram a eficácia da teleterapia por mais de três décadas.
- ❖ Fontes de cobalto-60 liberam fótons sob forma de raios  $\gamma$  com energias de 1,17MeV e 1,33MeV. Estas fontes são seladas, o material está confinado em cilindro metálico duplamente encapsulado.
- ❖ Esta emissão gama são aproximadamente tão penetrantes quanto raios-X com uma energia de 3MeV.



# Equipamentos de tratamento em teleterapia – Uso de $^{60}\text{Co}$

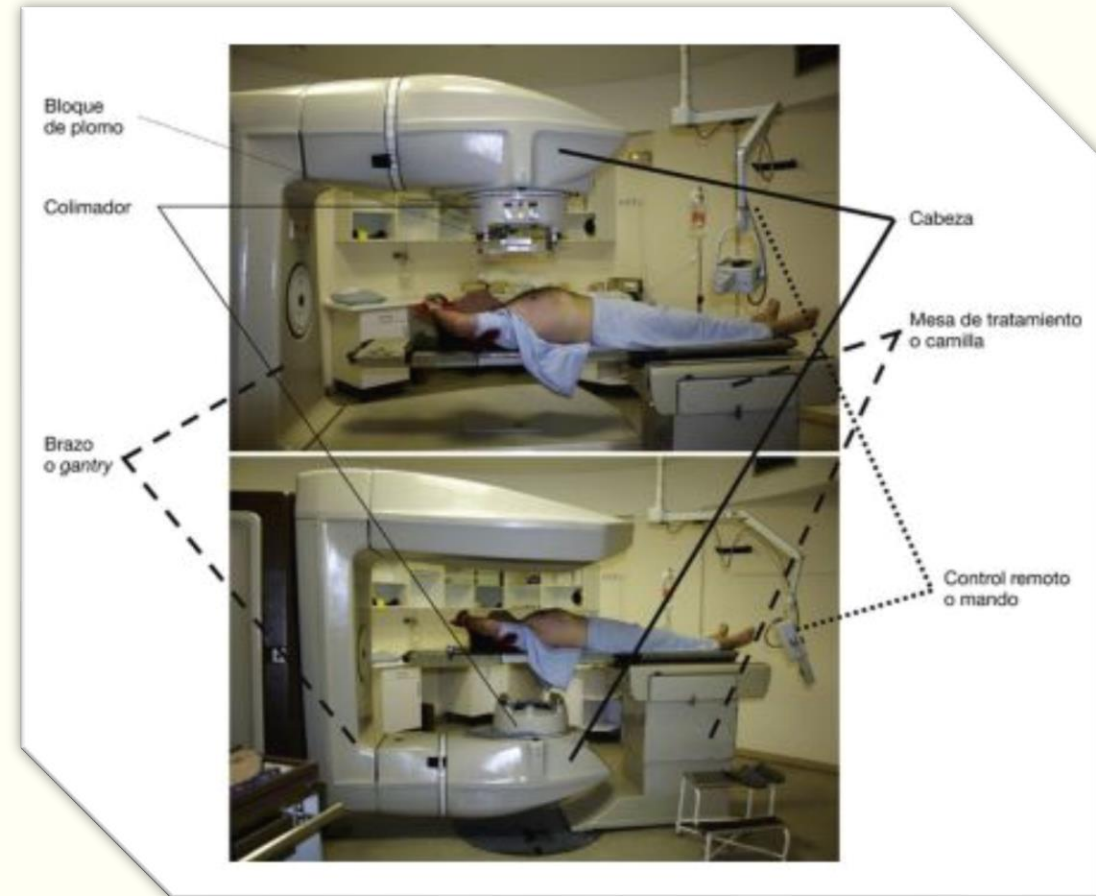
---

- ❑ São unidades de tratamento que utilizam uma fonte de  $^{60}\text{Co}$ , emitindo radiação gama a partir de desintegrações nucleares.
- ❑ Além do  $^{60}\text{Co}$ , unidades baseadas nos isótopos  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{137}\text{Cs}$  também foram projetadas, mas tem sido o uso do  $^{60}\text{Co}$  que durou mais tempo ao longo do tempo, devido especialmente à sua alta atividade específica, ou seja, obter maior fluência de fótons com pequenas quantidades de material radioativo.
- ❑ O  $^{60}\text{Co}$  é obtido artificialmente pelo bombardeio de nêutrons do isótopo estável  $^{59}\text{Co}$ .
- ❑ O isótopo de  $^{60}\text{Co}$  decai emitindo partículas  $\beta^-$ , com uma energia máxima de 0,32 MeV, transformando-se em  $^{60}\text{Ni}$ .
- ❑ Por outro lado, o  $^{60}\text{Ni}$  decai emitindo fótons  $\gamma$ , com energias de 1,17 MeV e 1,33 MeV (1,25 MeV em média), que são utilizados no tratamento de pacientes.
- ❑ A forma usual da fonte de  $^{60}\text{Co}$  é geralmente uma caixa em forma de cilindro ou um disco de aço de 1 cm de diâmetro, dentro do qual pastilhas ou esferas de  $^{60}\text{Co}$  são inseridos. O período de meia-vida de  $^{60}\text{Co}$  é de 5,27 anos.

# Equipamentos de tratamento em teleterapia – Uso de $^{60}\text{Co}$

## ❑ Componentes e acessórios da unidade de $^{60}\text{Co}$

- ❖ Na figura a seguir os diferentes elementos da unidade podem ser vistos. A máquina tem um braço (gantry) que suporta o cabeçote, que é onde a fonte de  $^{60}\text{Co}$  está alojada.
- ❖ O braço permite que o cabeçote gire em torno do paciente em um eixo de rotação.
- ❖ O cabeçote pode girar e tem, por sua vez, um colimador giratório. A mesa de tratamento também pode girar em torno do mesmo eixo de rotação do colimador.





# Equipamentos de tratamento em teleterapia – Uso de $^{60}\text{Co}$

---

## ❑ Componentes e acessórios da unidade de $^{60}\text{Co}$

- ❖ O ponto de intersecção do eixo de rotação do braço, o eixo do colimador e o eixo da mesa de tratamento é chamado de **isocentro** da máquina.
- ❖ A localização do **isocentro** nas salas de tratamento é indicada pela intersecção de linhas de luz (vermelho ou verde), produzidas por lasers fixos (geralmente três), colocados em duas paredes opostas em ambos os lados da mesa de tratamento e no teto ou ao pé da mesa.





# Equipamentos de tratamento em teleterapia – Uso de $^{60}\text{Co}$

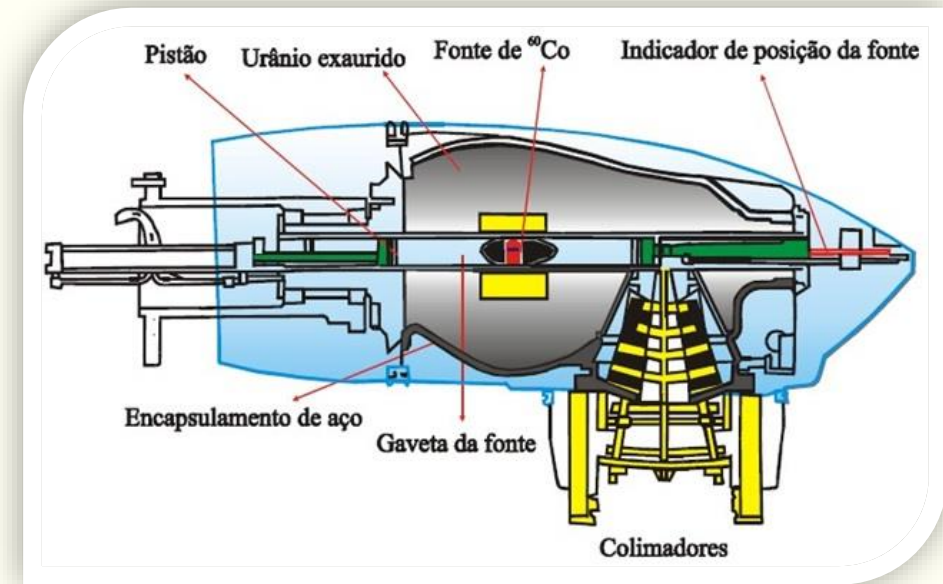
---

- ❑ Com a possibilidade de movimentos da unidade  $^{60}\text{Co}$  acima mencionada, o feixe de radiação sempre passará pelo isocentro e permitirá direcionar os feixes de radiação em qualquer direção sem mover o paciente.
- ❑ A colocação do centro do tumor no isocentro, na chamada técnica isocêntrica, tem a vantagem do menor tempo necessário para o tratamento, já que o paciente não precisa estar posicionado para cada campo de tratamento, o que melhora o desempenho da unidade e maior precisão é alcançada.



# Equipamentos de tratamento em teleterapia – Uso de $^{60}\text{Co}$

- ❑ A distância a partir da fonte para isocentro em unidades de cobalto, é tipicamente 80 centímetros, embora existam unidades com fonte-isocentro 100 centímetros distância, em que o aumento da atividade da fonte é necessária para alcançar uma taxa adequada dose que não faz com que os tempos de tratamento sejam muito longos.
- ❑ A Figura representa esquematicamente o interior da cabeça da unidade, que é coberta com chumbo, urânio exaurido ou tungstênio para evitar a emissão de radiação fora dela.
- ❑ O mecanismo para conduzir a fonte para a abertura através da qual a radiação emerge, em geral, por um sistema de ar comprimido que a move para a posição de tratamento.
- ❑ Uma vez decorrido o tempo de irradiação prescrito, o mecanismo consiste em uma mola que faz com que a fonte retorne à sua posição de repouso.
- ❑ O sistema é projetado de tal forma que, na ausência de uma alimentação elétrica, o mecanismo de ar comprimido é interrompido e a fonte retorna à sua posição de repouso, o que o força a bombear continuamente o ar para manter a fonte em sua posição de tratamento.



# Equipamentos de tratamento em teleterapia – Uso de $^{60}\text{Co}$

---

- ❑ Os colimadores destinam-se a restringir a radiação, de modo que ela só atinja a área de tratamento.
- ❑ A desvantagem é que, uma vez que suas bordas são retilíneas, somente os campos de tratamento retangulares podem ser configurados.
- ❑ Para projetar campos de tratamento com formas mais complexas, são usados blocos de chumbo.
- ❑ Os blocos podem ser projetados como uma peça única ou empilhando peças menores.
- ❑ Essas unidades também possuem cunhas que são interpostas no campo de radiação para modificá-lo e obter uma conformação adequada da distribuição de radiação ao redor do tumor.



# Equipamentos de tratamento em teleterapia – Uso de $^{60}\text{Co}$

---

- ❑ O tamanho do campo de tratamento é exibido na superfície do paciente por meio de luz de campo ou luz de simulação, que representa a projeção (tamanho e forma) que o campo de radiação teria na pele do paciente.
- ❑ A distância da fonte até a pele do paciente pode ser medida com uma trena óptica, que projeta uma escala graduada luminosa na pele.
- ❑ A sala de tratamento deve ser protegida, para que a radiação não atinja os operadores da sala de controle ou das salas adjacentes. Na sala de controle está o console a partir do qual a unidade é operada.



# Equipamentos de tratamento em teleterapia – Uso de $^{60}\text{Co}$

---

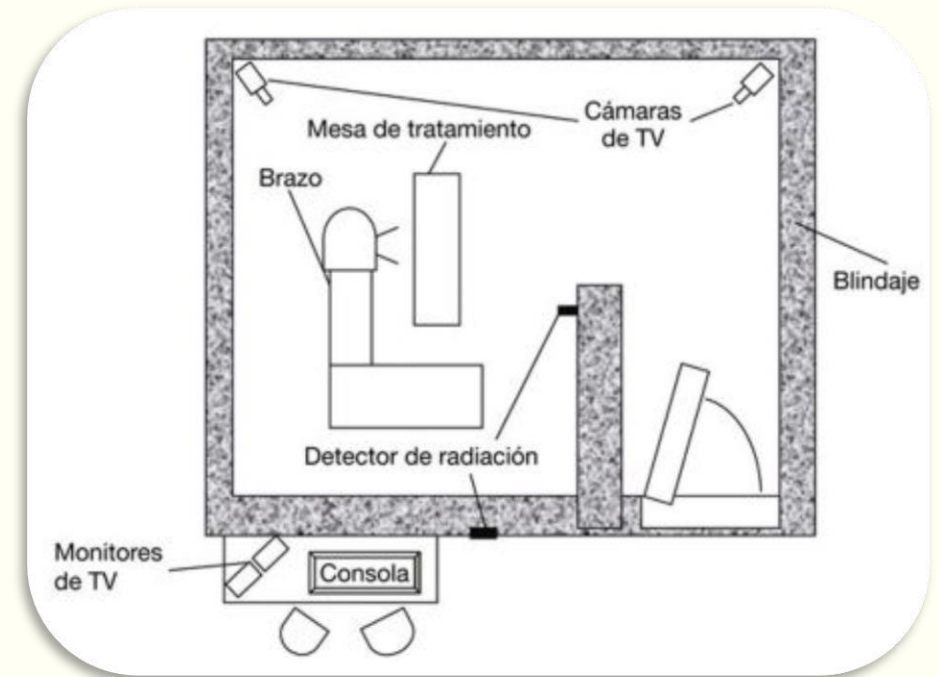
- ❑ Entre suas funções estão selecionar e indicar o tempo de irradiação ou exposição através de um temporizador que retorne a fonte à sua posição de descanso quando o tempo for alcançado, e estabeleça os parâmetros geométricos da irradiação (ângulo do braço, amplitude do arcos de irradiação a serem feitos, etc.).
- ❑ Também possui dispositivos de segurança e alarme no correto funcionamento da unidade. O timer possui a característica relevante de ser redundante, pois possui dois relógios, de modo que o segundo atua interrompendo a irradiação em caso de falha do principal.
- ❑ O console de controle inclui uma chave que permite que a irradiação evite o uso não autorizado.





# Equipamentos de tratamento em teleterapia – Uso de $^{60}\text{Co}$

- ❑ A Figura mostra um possível projeto de uma sala de tratamento com uma unidade de cobalto-60, onde a blindagem das paredes e a localização do console de controle podem ser vistas.
- ❑ As salas de controle devem ter uma chave na porta que, se aberta, retorna a fonte para sua posição de repouso se estiver irradiando dentro da sala.



# Equipamentos de tratamento em teleterapia – Uso de $^{60}\text{Co}$

---

❑ As unidades de  $^{60}\text{Co}$  têm as seguintes vantagens:

- ❖ Devido à simplicidade de seu design, eles são caracterizados por terem uma taxa de falha relativamente baixa.
- ❖ Seu custo e manutenção são muito menores que os aceleradores de partículas.
- ❖ Eles podem ser instalados em salas pequenas.
- ❖ Em comparação com os aceleradores de elétrons lineares, as espessuras das blindagens são menores.
- ❖ Em comparação com unidades de terapia superficial, eles permitem tratar áreas mais profundas.

❑ No entanto, eles também têm desvantagens:

- ❑ Possibilidade de acidentes, uma vez que a fonte não pode retornar à sua posição de descanso.
- ❑ Em comparação com os aceleradores de elétrons lineares, o tamanho da fonte produz um tamanho maior da penumbra do campo de radiação. A fonte tem decaimento radioativo, o que prolonga os tratamentos ao final de sua vida útil e faz com que seja necessário substituí-lo periodicamente.
- ❑ Do ponto de vista da proteção radiológica, há sempre um risco de radiação, pois são fontes radioativas, o que requer procedimentos específicos de trabalho que levem em consideração esse aspecto.
- ❑ Requer procedimentos adequados de desmontagem que levem em conta o descarte da fonte radioativa.



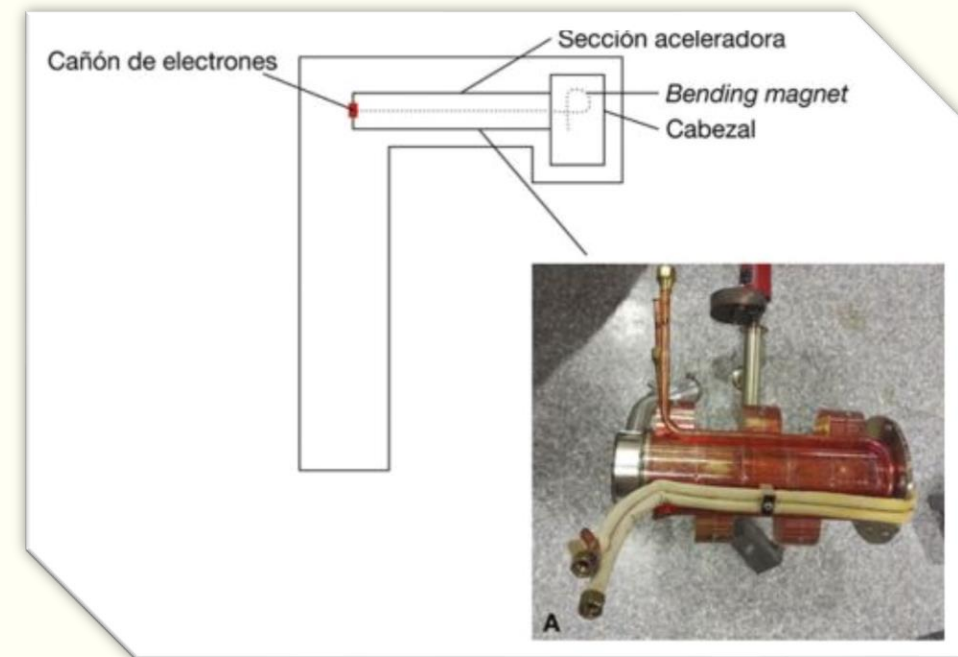
# Equipamentos de tratamento em teleterapia – Uso de Aceleradores Lineares de elétrons

---

- ❑ Os aceleradores lineares de elétrons baseiam sua operação no mesmo princípio básico que qualquer tubo de raios X, isto é, elétrons acelerados colidem com um material denso (metálico), produzindo um feixe de raios-X (RX), principalmente por bremsstrahlung. Um acelerador linear também pode funcionar fornecendo feixes de elétrons para uso clínico, o que é conseguido simplesmente removendo o alvo metálico com o qual eles colidem para obter o RX.
- ❑ A construção de um acelerador linear pode diferenciar de um modelo para outro, mas a aceleração dos elétrons é obtida por meio de um campo eletromagnético com frequência na faixa de micro-ondas. Este campo eletromagnético é injetado no guia de ondas e interage com os elétrons injetados pela canhão de elétrons, que são acelerados até velocidades próximas às da luz ao longo do guia de onda.

# Equipamentos de tratamento em teleterapia – Uso de Aceleradores Lineares de elétrons

- ❑ O guia de ondas que produz a aceleração é a parte fundamental de um acelerador linear e consiste em um tubo contendo uma série de discos que dividem a estrutura em cavidades ao longo de seu comprimento.
- ❑ É nessas cavidades que os campos magnéticos intensos que fornecem energia aos elétrons são estabelecidos, fazendo com que eles progressivamente adquiram velocidades crescentes próximas às da luz.
- ❑ Os elétrons podem ser acelerados com energias superiores a 10 MeV.

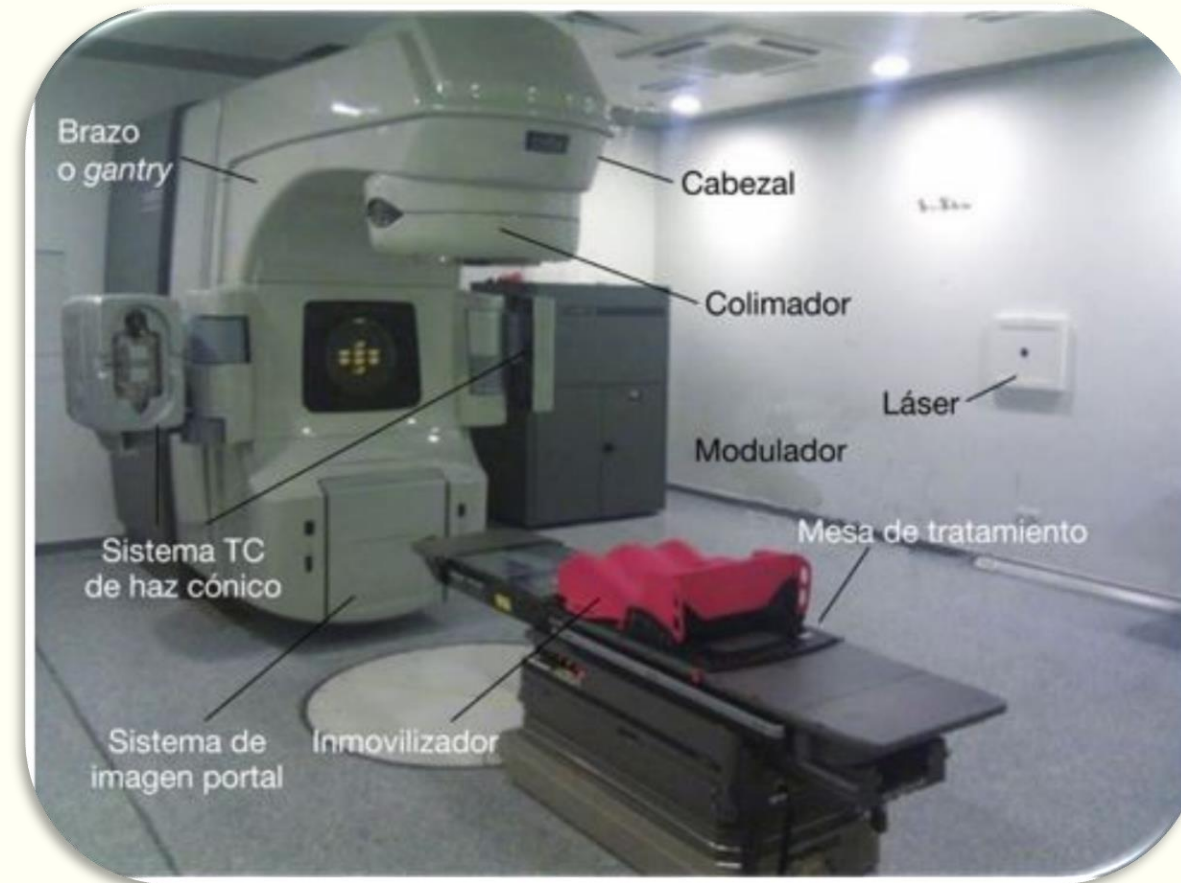


*Esquema do braço do acelerador linear de elétrons*

# Equipamentos de tratamento em teleterapia – Uso de Aceleradores Lineares de elétrons

---

## □ *Elementos de um acelerador linear*



# Equipamentos de tratamento em teleterapia – Uso de Aceleradores Lineares de elétrons

---

- ❑ ***Braço ou gantry:*** é uma estrutura que contém, entre outros sistemas, o guia de ondas do acelerador e pode girar em torno do paciente. No final, ele suporta o cabeçote, que é a parte onde a deflexão, o controle dosimétrico e geométrico do feixe de radiação ocorre. O feixe de raios X emerge do cabeçote.
- ❑ ***Cabeçote:*** compreende um conjunto de sistemas, como o alvo para produção de RX e deflexão do feixe, que são blindados para limitar a radiação de fuga. Os sistemas de controle dosimétrico e geométrico do feixe de radiação também são encontrados no cabeçote. Associado ao cabeçote temos os colimadores primário, secundário e multilâminas.

# Equipamentos de tratamento em teleterapia – Uso de Aceleradores Lineares de elétrons

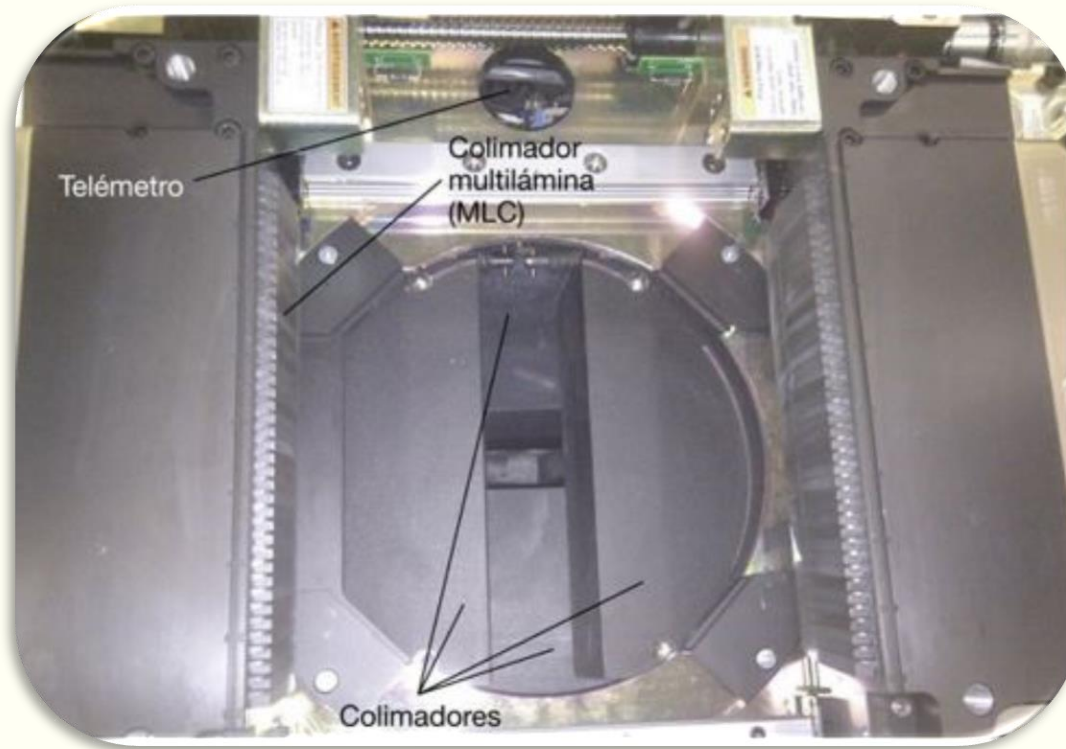
---

- ❑ **Colimador primário:** de forma cônica, situado na saída do feixe, que restringe o tamanho do campo ao máximo que o acelerador linear pode fornecer, caso os outros colimadores estejam abertos ao máximo. Não é visível do exterior.
- ❑ **Colimador secundário:** localizado abaixo do colimador primário, possui a função de limitar e absorver a parte do feixe máximo que não será utilizada na conformação final do feixe. Consiste em dois pares de estrutura móvel, localizados um abaixo do outro. Ao contrário do colimador primário, que produz um tamanho de campo fixo, os colimadores secundários permitem que o tamanho do campo de radiação seja variado.
- ❑ **Colimador multilâminas:** posicionado na saída do feixe, este tipo de colimador é formado por pares de lâminas que se movem independentemente, configurando a forma do campo de radiação necessário. As lâminas são feitas de tungstênio.

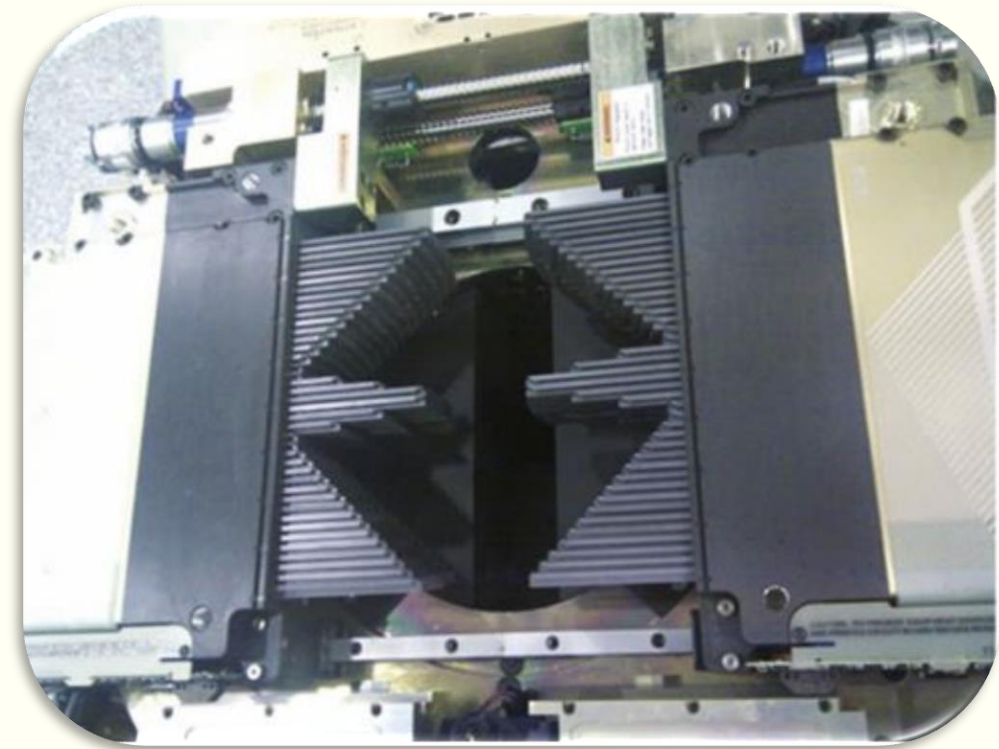


# Equipamentos de tratamento em teleterapia – Uso de Aceleradores Lineares de elétrons

---



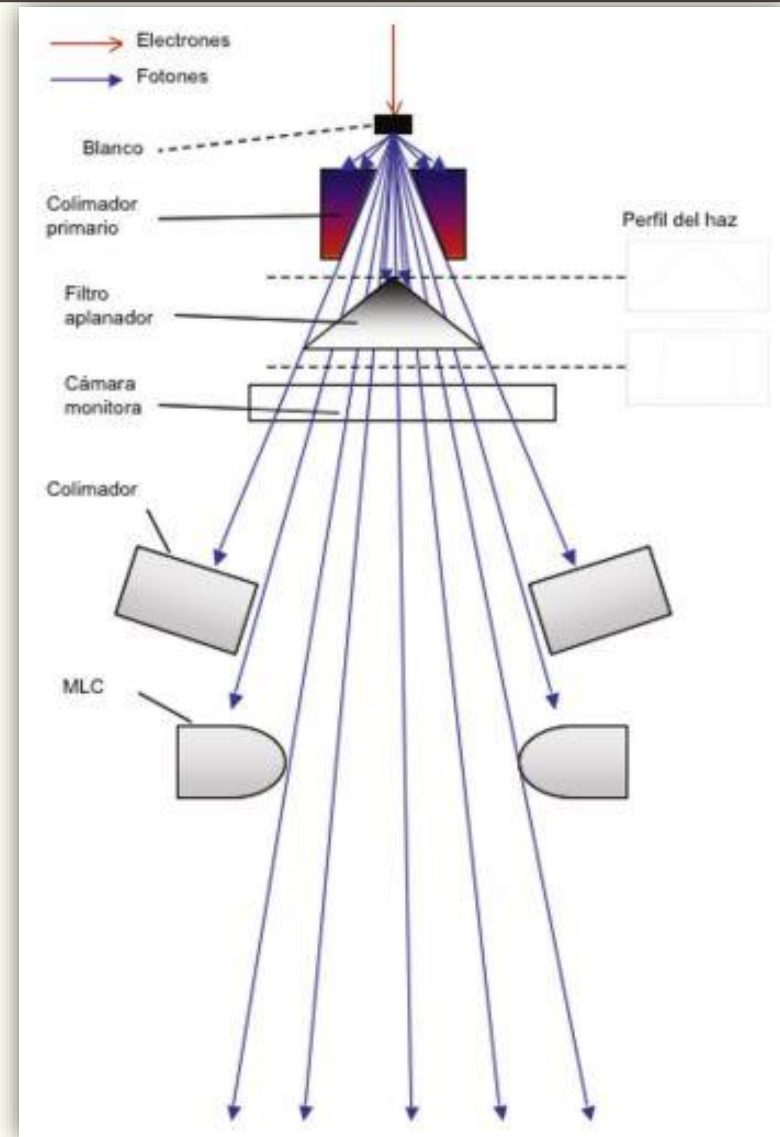
*Colimadores primário e secundário*



*Colimador Multilâminas*

# Equipamentos de tratamento em teleterapia – Uso de Aceleradores Lineares de elétrons

- ❑ O funcionamento do acelerador linear o modo de emissão de fótons é baseada no mesmo princípio que o tubo de raios X, ou seja, na produção de radiação de frenagem quando um feixe de elétrons colide contra um material alvo. Um esboço geral pode ser visto na Figura.





# Equipamentos de tratamento em teleterapia – Uso de Aceleradores Lineares de elétrons

---

- ❑ Ao contrário do tubo de raios X, no acelerador linear o material alvo funciona por transmissão, ou seja, os elétrons colidem de um lado e os fótons de raios X são emitidos no lado oposto ao material alvo.
- ❑ Uma vez que o alvo é cruzado, os fótons que não têm a direção desejada são eliminados por meio do colimador primário. Nesse ponto, como pode ser visto na figura anterior, o perfil dosimétrico do feixe de radiação tem um aspecto de uma função gaussiana, já que há mais dose no centro do que nas bordas do feixe.
- ❑ Devido à falta de homogeneidade do feixe, o que faz com que a dose no centro não seja a mesma que na borda do feixe, é introduzido um filtro de achatamento que consiste em um disco de perfil cônico de um material de alta densidade e/ou número atômico, que permite obter um feixe com perfil dosimétrico plano.

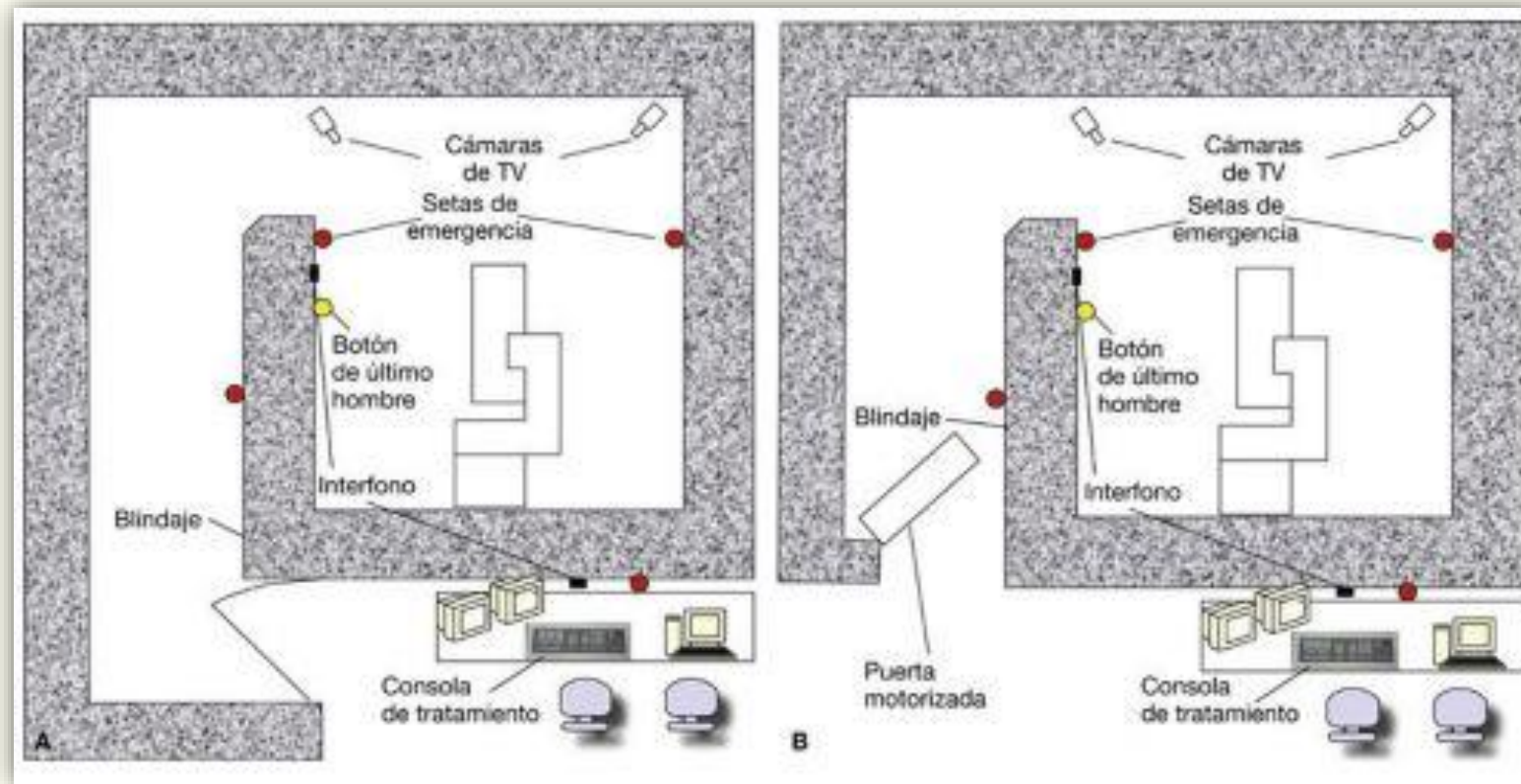
# Equipamentos de tratamento em teleterapia – Uso de Aceleradores Lineares de elétrons

---

- ❑ O controle das características do feixe, como sua planicidade, simetria, taxa de dose, etc., é feito por monitores de câmaras de ionização que são interpostas na trajetória do feixe, dentro do cabeçote. Em caso de perda dessas características, as câmeras do monitor enviam uma correção ou um sinal de advertência para alcançar a interrupção do feixe. Essas câmeras de monitor são redundantes e têm múltiplas funções, como medir a taxa de dose ou controlar a simetria do feixe.
- ❑ A necessidade de ter câmeras de monitoração é devido à potencial instabilidade de qualquer dispositivo eletrônico, que pode causar fótons não serem emitidos de forma regular, como ocorre em uma unidade de cobalto-60 que emite radiação de maneira estável, regulada pela própria natureza do decaimento radioativo.

# Equipamentos de tratamento em teleterapia – Uso de Aceleradores Lineares de elétrons

- ❑ A figura neste slide mostra dois projetos possíveis para uma sala de tratamento: um com um labirinto de longa distância e outro que usa uma porta blindada, que deve ser motorizada devido ao seu grande peso.



# Equipamentos de tratamento em teleterapia – Uso de Aceleradores circulares de partículas

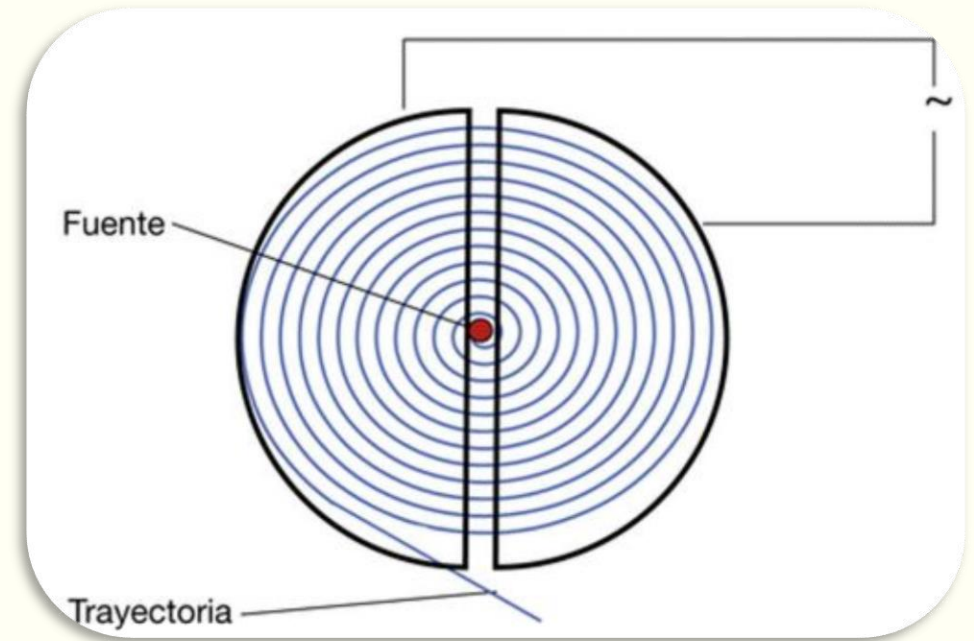
---

- ❑ Eles são aceleradores de desenho circular usados para acelerar prótons ou partículas mais pesadas, como íons de carbono ou hélio. Este tipo de radiação é caracterizado por ter uma região alvo determinada pela sua energia e uma dose muito baixa na entrada do paciente. Os íons de carbono e hélio, por outro lado, são distinguidos por uma alta transferência de energia linear, de modo que o efeito biológico alcançado é maior que o da terapia de fótons ou elétrons.
- ❑ O propósito do uso desses feixes de radiação é proteger, em uma extensão muito maior do que a obtida com fótons ou elétrons, as regiões saudáveis vizinhas ao tumor, com maior eficiência biológica.
- ❑ As máquinas usadas para acelerar esse tipo de partículas são chamadas de ciclotrons.

# Equipamentos de tratamento em teleterapia – Uso de Aceleradores circulares de partículas

---

- ❑ O cíclotron consiste de uma cavidade cilíndrica dividida em duas metades em forma de D, atravessadas por um campo magnético constante uniforme paralelo ao seu eixo.
- ❑ O efeito que o campo magnético tem sobre as partículas carregadas é desviá-las para que as partículas girem em órbitas circulares de raio diretamente proporcionais à sua velocidade.
- ❑ Como consequência do aumento de sua energia cinética, as partículas descrevem órbitas de raios crescentes. Colocando uma fenda na distância apropriada do centro, é possível extrair as partículas com a energia desejada.



# Equipamentos de tratamento em teleterapia - Resumo

---

- ❑ A teleterapia consiste no tratamento radioterápico por meio de uma fonte de radiação ionizante externa ao paciente. O equipamento de terapia de superfície é baseado no uso de tubos RX.
- ❑ Os elétrons são acelerados por meio de uma voltagem de quilovoltagem. A energia dos tubos é caracterizada por sua camada semirredutora.
- ❑ Entre os equipamentos de teleterapia que utilizam fontes radioativas, destaca-se a unidade de cobalto-60. A fonte de cobalto-60 emite fótons com energia média de 1,25 MeV, e sua meia-vida é de 5,27 anos.
- ❑ Aceleradores de elétrons lineares podem fornecer diferentes energias de fótons e elétrons.
- ❑ No modo de fóton, os aceleradores obtêm raios X ao frear a radiação quando um feixe de elétrons atinge um material alvo. Os elétrons são acelerados por meio de campos eletromagnéticos em um guia de ondas.
- ❑ Os aceleradores de partículas circulares são usados para obter radiação de prótons e íons pesados, sendo necessário o uso de um ciclotron.

## Aspectos físicos do tratamento radioterápico (planejamento)

---

- ❑ O planejamento do tratamento radioterápico apresenta muitas variáveis - diagnóstico, *definição do volume*, definição de tamanho de campo e *técnicas de tratamento* que podem ser empregadas dependendo de cada caso.
- ❑ O planejamento deve levar em conta ainda a histologia, as vias de disseminação, os efeitos colaterais, a idade e estado geral do paciente, o estágio da doença, o prognóstico e a evolução de tecnológicas disponíveis.



# Aspectos físicos do tratamento radioterápico (planejamento)

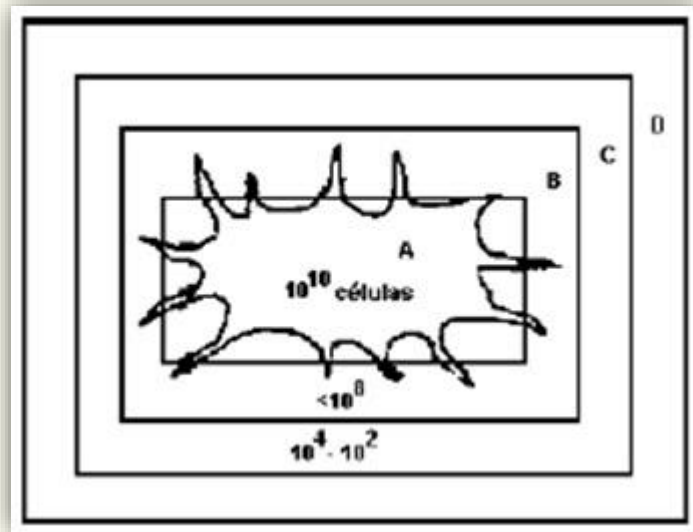
---

- ❑ 1a etapa do planejamento → Diagnóstico
- ❑ Uma vez que o tumor esteja histologicamente diagnosticado e mensurado, é feito um levantamento da história clínica do paciente e um exame físico minucioso que fornecem dados sobre a exposição a agentes cancerígenos, sintomas e sinais clínicos específicos e inespecíficos etc.
- ❑ A seguir o médico escolhe o tipo de terapia que será usado para o tratamento. Dependendo da profundidade do tumor também é definida a qualidade (fótons ou partículas) da radiação administrada e o equipamento adequado dentre os disponíveis.

# Aspectos físicos do tratamento radioterápico (planejamento)

---

- ❑ Definição do volume a ser irradiado, aqui deve-se salientar a enorme importância da qualidade do imageamento realizado na definição do tumor bem como todo o processo de simulação realizado.



- A. Tumor
- B. Volume tumoral
- C. Volume alvo
- D. Volume de tratamento

# Aspectos físicos do tratamento radioterápico (planejamento)

---

## □ Técnicas de tratamento :

### ❖ Fracionamento

❖ **Campo direto** - A região escolhida é irradiada a partir de apenas um campo de irradiação. É utilizada geralmente para tratamentos superficiais ou para regiões mais profundas desde que a radiação não afete órgãos críticos no seu trajeto até o volume alvo.

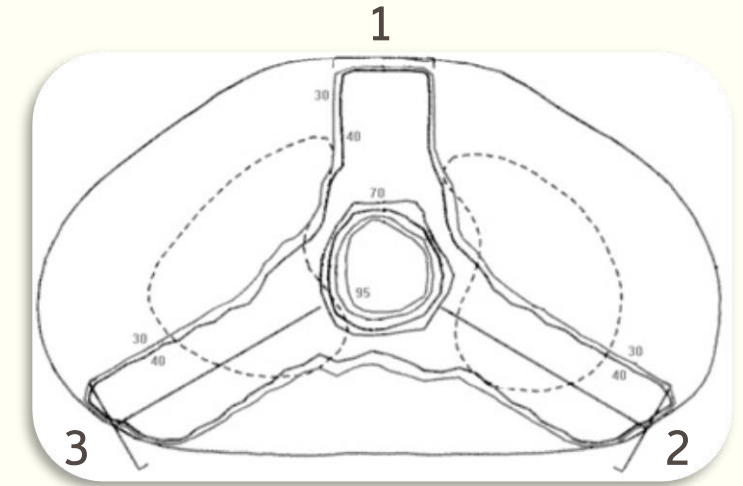
❖ **Campos paralelos e opostos** - O tumor é irradiado a partir de dois campos opostos ( $180^\circ$ ). É uma técnica que pode ser empregada, por exemplo, para o tratamento dos dois terços superiores do esôfago, poupando a medula espinhal, e para os pulmões.

# Aspectos físicos do tratamento radioterápico (planejamento)

---

## ☐ Técnicas de tratamento :

- ❖ **Três campos** - Os campos de radiação são dispostos em forma de "Y" ou "T". Exemplos de utilização desta técnica são para os dois terços inferiores do esôfago, visando minimizar ao máximo o efeito sobre o tecido pulmonar normal dentro do volume irradiado.
- ❖ **Quatro campos** - Os campos de irradiação são dispostos em forma de "+" ou "x". Esta técnica pode ser utilizada no tratamento do câncer de próstata e colo de útero. No tratamento do colo do útero esta técnica permite excluir a parede posterior do reto e a parede anterior da bexiga poupando estas regiões da irradiação, à qual são extremamente radiosensíveis.



*Campos:*

- 1. Anterior*
- 2. Pósterodireito*
- 3. Pósteroesquerdo*

# Aspectos físicos do tratamento radioterápico (planejamento)

---

## □ Cartas e curvas de isodose

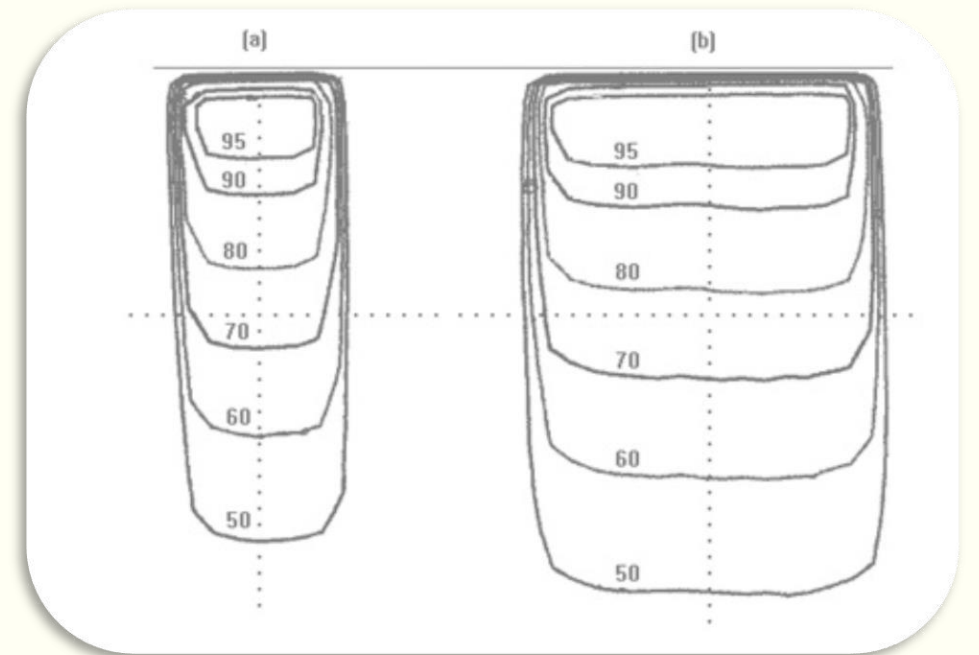
- ❖ São mapas da distribuição da dose no interior do paciente, sendo esta distribuição função da forma e da área do campo de irradiação, da distância foco-superfície, da qualidade da radiação e das estruturas atravessadas pelo feixe. A partir destes dados é possível saber, com precisão, a quantidade de radiação que está sendo depositada na região irradiada.
- ❖ As curvas são obtidas experimentalmente, sempre com um feixe que incide perpendicularmente a um plano. Para confeccionar estes mapas, que representam a distribuição da dose no corpo humano, o material utilizado tem que possuir densidade  $1 \text{ g/cm}^3$  que, em média, é uma boa aproximação para a densidade do corpo humano.

# Aspectos físicos do tratamento radioterápico (planejamento)

---

## □ Cartas e curvas de isodose

- ❖ Cartas de isodose para feixes de raios-X produzidos em acelerador linear de 6 MeV para diferentes tamanhos de campo e a mesma distância foco-superfície. Em (a) o campo é 5cm x 5cm; em (b) é 10cm x 10cm.

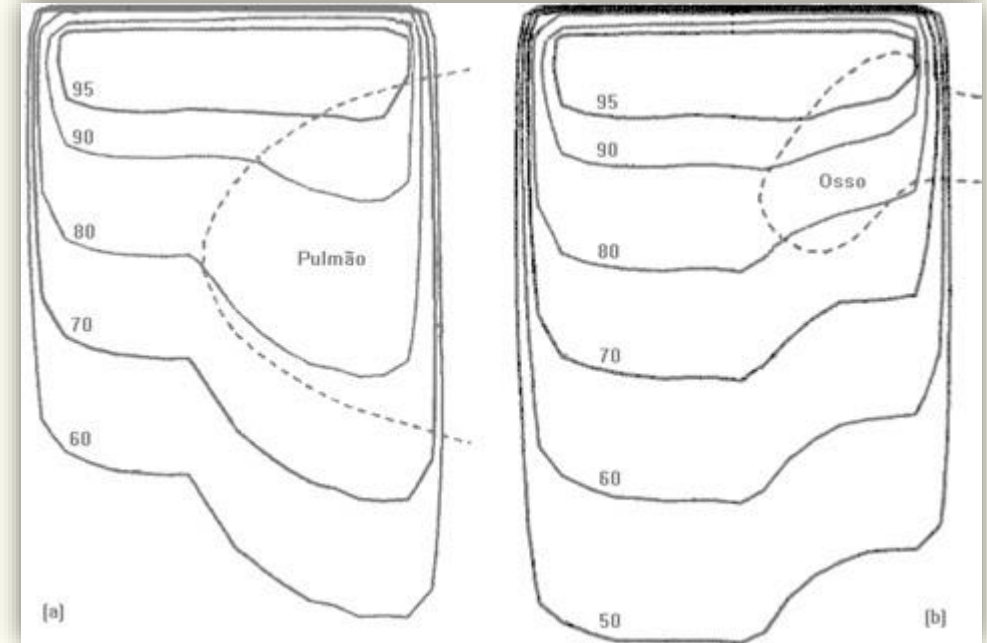


# Aspectos físicos do tratamento radioterápico (planejamento)

---

## □ Cartas e curvas de isodose

- ❖ As cartas de isodoses padrões devem ser corrigidas para compensar a presença de tecidos de diferentes densidades. Em (a), com a presença de um pulmão, menos denso que a água; em (b), com a presença de osso, mais denso que a água.





## Estudo de caso – Radioterapia (Teleterapia)

---

- ❑ **Patologia:** Câncer de pulmão.
- ❑ **Diagnóstico geral:** História clínica do paciente e exame físico. Diagnóstico histológico através de exame citológico de escarro, broncoscopia com biópsia, punção transtorácica por agulha orientada por tomografia computadorizada etc.
- ❑ **Tratamento:** Depende da avaliação clínica em relação ao estadiamento do tumor: cirurgia, radioterapia, radioterapia pré-operatória, radioterapia pós-operatória e quimioterapia.

## Estudo de caso – Radioterapia (Teleterapia)

---

- ❑ Dose total geralmente de 50 a 60 Gy, com fracionamento diários de 2.0 Gy, cinco vezes por semana.
- ❑ Técnica mais usual é com dois campos paralelos e opostos com proteção na medula espinhal. O tamanho dos campos varia de acordo com o tamanho do paciente e a extensão da lesão.
- ❑ Uma vez determinada a dose a ser administrada, a qualidade da radiação e o tipo de equipamento a ser utilizado, a região e o tamanho do campo de irradiação são definidas através de imagens de diagnóstico (tomografia e ressonância).
- ❑ Físico e médico fazem, na pele do paciente, uma marcação (tatuagem) preliminar da área a ser irradiada.

## Estudo de caso – Radioterapia (Teleterapia)

---

- ❑ Dose total geralmente de 50 a 60 Gy, com fracionamento diários de 2.0 Gy, cinco vezes por semana.
- ❑ Técnica mais usual é com dois campos paralelos e opostos com proteção na medula espinhal. O tamanho dos campos varia de acordo com o tamanho do paciente e a extensão da lesão.
- ❑ Uma vez determinada a dose a ser administrada, a qualidade da radiação e o tipo de equipamento a ser utilizado, a região e o tamanho do campo de irradiação são definidas através de imagens de diagnóstico (tomografia e ressonância).
- ❑ Físico e médico fazem, na pele do paciente, uma marcação (tatuagem) preliminar da área a ser irradiada.

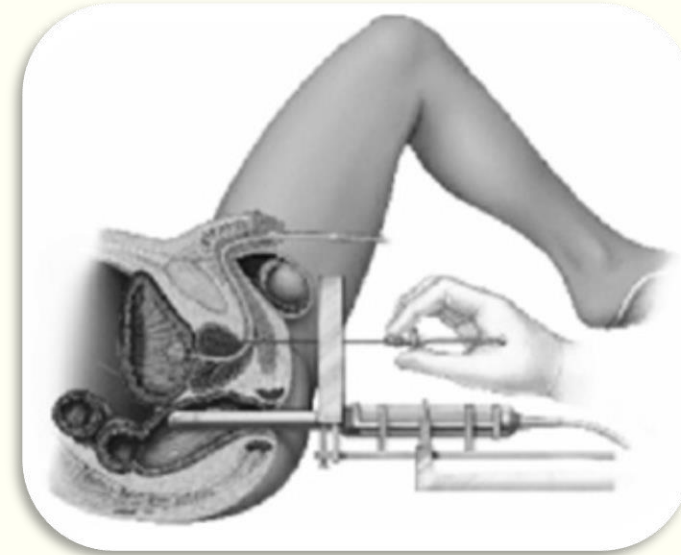
## Estudo de caso – Radioterapia (Teleterapia)

---

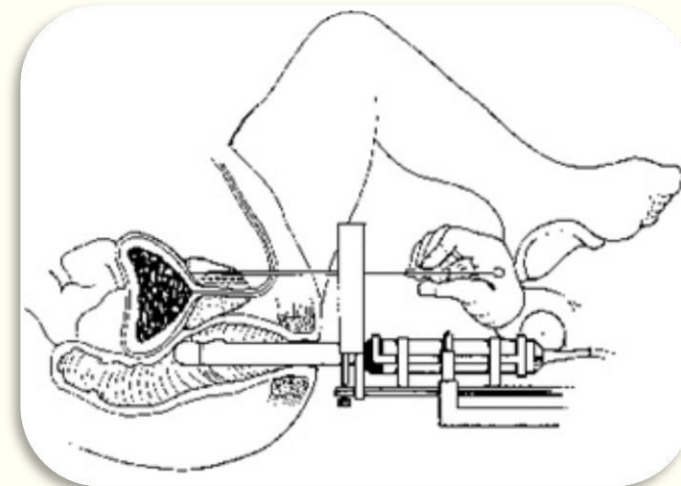
- ❑ O paciente é levado a um simulador e imagens radiológicas são obtidas exatamente na posição em que será tratado.
- ❑ A partir destas imagens radiológicas é feita a marcação definitiva do local a ser irradiado.
- ❑ Colimadores são utilizados quando deseja-se proteger regiões e órgãos críticos.
- ❑ As regiões a serem protegidas são desenhadas nas imagens radiológicas, que servem de referência para a confecção de um molde de isopor que é utilizado para produzir os colimadores definitivos em chumbo a serem posicionados alinhados ao feixe primário.

# Braquiterapia e seus aspectos físicos

---



- ❑ *Modalidade de Radioterapia na qual a fonte ou material radioativo é colocado em proximidade ou dentro do órgão a ser tratado, através de guias chamados cateteres ou sondas.*

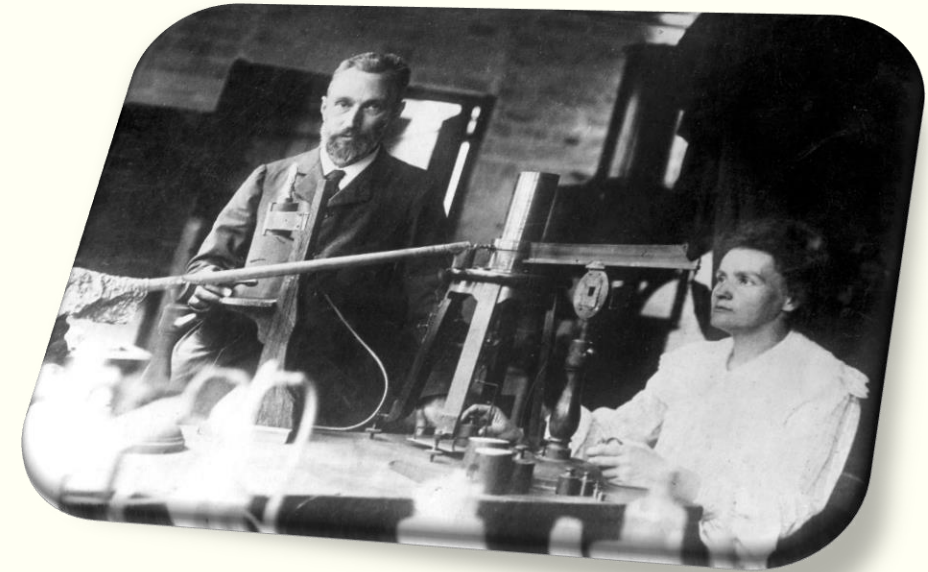


# Braquiterapia e seus aspectos físicos

---

## □Histórico

- ❖ 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.



# Braquiterapia e seus aspectos físicos

---

## □ Vantagens

- ❖ Trata o volume tumoral, ou o local onde este se encontra, preservando ao máximo as estruturas normais vizinhas.
- ❖ Terapia de curta distância onde, uma fonte encapsulada ou um grupo destas fontes são utilizadas para liberação de radiação  $\beta$  ou  $\gamma$  a uma distância de poucos centímetros do volume tumoral.
- ❖ 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.
- ❖ Como o elemento radioativo é colocado em proximidade ou dentro do órgão a ser tratado, podem ser utilizados elementos radioativos específicos, de pequeno tamanho e formas variadas, sendo os mesmos colocados na posição de tratamento através de guias (cateteres ou aplicadores).

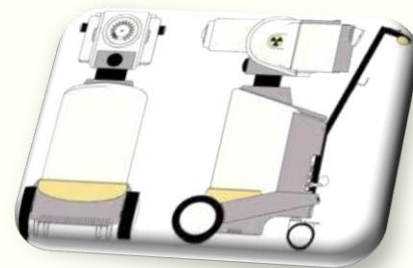


# Braquiterapia e seus aspectos físicos

---

## ❑ Desvantagens

- ❖ Sua principal desvantagem é a não uniformidade da dose, uma vez que a dose de radiação é muito mais intensa perto da fonte, embora que o uso de muitas fontes ajude a 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.
- ❖ A radiação para o terapeuta tem sido muito reduzida pela técnica remota de afterloading.



# Braquiterapia e seus aspectos físicos - Classificação

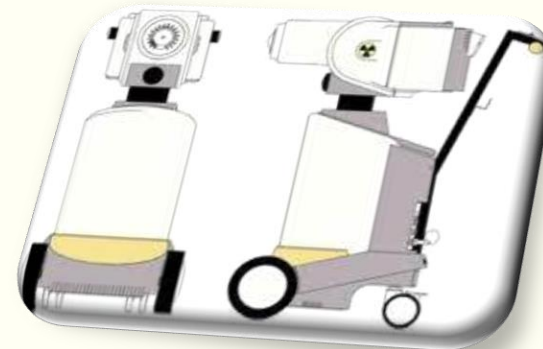
---

## □ Quanto a forma de aplicação da fonte:

- ❖ Intersticial;
- ❖ Intracavitária;
- ❖ Endoluminal;
- ❖ Superficial;
- ❖ Intraoperatória.

## □ Quanto a taxa de dose de dose das fontes radioativas utilizadas:

- ❖ LDR – Baixa taxa de dose;
- ❖ MDR – Média taxa de dose;
- ❖ HDR – alta taxa de dose;
- ❖ PDR – taxa de dose pulsada.

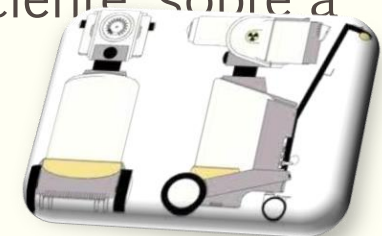


# Braquiterapia e seus aspectos físicos - Classificação

---

## □ Quanto a forma de aplicação da fonte:

- ❖ **Intersticial** – fonte colocada diretamente no tecido alvo do local afetado. Ex.: mama, próstata e língua.
- ❖ **Intracavitária** – a fonte radioativa é colocada dentro da cavidade anatômica natural, utilizando um aplicador que insere a mesma. Ex.: cavum, vagina e reto.
- ❖ **Endoluminal** – a fonte radioativa é aplicada de maneira similar a intracavitária em vasos sanguíneos, intestino, brônquios, esôfago ou qualquer estrutura tubular.
- ❖ **Superficial** – a fonte radioativa é aplicada em tratamentos sobre a pele.
- ❖ **Intraoperatória** – a fonte radioativa é colocada dentro do paciente, sobre a região exposta ao ato cirúrgico.



# Braquiterapia e seus aspectos físicos - Classificação

---

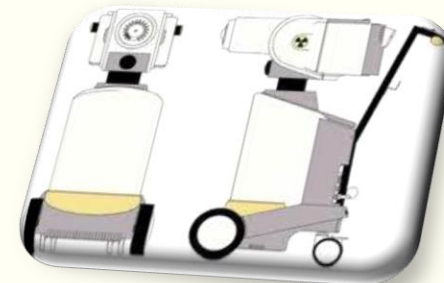
□ Quanto a taxa de dose de dose das fontes radioativas utilizadas:

❖ Baixa taxa de dose (LDR):

- Compreende o uso de taxas de dose entre 0,4 – 2 Gy/h.
- O tratamento ou aplicação das fontes no paciente pode durar vários dias ininterruptos, o que requer internação hospitalar do paciente por questões de confiabilidade e qualidade de tratamento, além de proteção radiológica.

❖ Média taxa de dose (MDR):

- Compreende o uso de taxas de dose entre 2 – 12 Gy/h.
- Seu uso clínico é pouco comum.



# Braquiterapia e seus aspectos físicos - Classificação

---

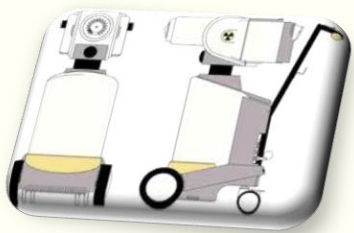
□ Quanto a taxa de dose de dose das fontes radioativas utilizadas:

❖ Alta taxa de dose (HDR):

- Compreende taxa de dose acima de 12 Gy/h.
- O tratamento dura alguns minutos, pode incluir várias sessões e pode ser feito em nível ambulatorial.

❖ Taxa de dose pulsada (PDR):

- Consiste em simular o efeito biológico do tratamento LDR, administrando uma dose de tratamento (pulso) com uma taxa mais alta (1-3 Gy/h) em certos intervalos de tempo (geralmente a cada hora).
- Dependendo da taxa de dose, o efeito radiobiológico revela-se diferente em doses iguais.



## Braquiterapia e seus aspectos físicos – Fontes radioativas

---

- ❑ A energia da radiação emitida deve ser suficiente para penetrar todo o volume de tratamento, produzindo uma distribuição de dose homogênea, mas não tão alta que tecidos periféricos saudáveis sejam irradiados em excesso ao tumor e até mesmo ao pessoal de saúde envolvido.
- ❑ As fontes devem ser encapsuladas para evitar a dispersão e consequente contaminação pelo material radioativo da fonte, em caso de acidente.
- ❑ Elas devem ter uma **atividade específica** alta. Desta forma, as fontes terão dimensões reduzidas com o que o tratamento irá ganhar em precisão geométrica.
- ❑ O período de meia-vida deve ser grande o suficiente para que a fonte possa ser reutilizada em pacientes sucessivos, diminuindo assim seu custo.

# Braquiterapia e seus aspectos físicos – Fontes radioativas

---

<b>Nuclídeo</b>	<b>Energia méd. (MeV)*</b>	<b>Energia máx (MeV)*</b>	<b>T<sub>1/2</sub></b>	<b>HVL (mm)</b>	<b>TVL (mm)</b>	<b>Gamão (Γ) (μGy.m<sup>2</sup>/h.GBq)</b>
<sup>60</sup> Co	1,25	1,33	5,27 A	12	40	309
<sup>137</sup> Cs	0,66	0,66	30,08 A	6,5	21	78
<sup>192</sup> Ir	0,37	0,61	73,83 D	6,0	20	113
<sup>125</sup> I	0,04	0,04	59,41 D	0,03	0,1	33
<sup>198</sup> Au	0,42	1,09	2,69 D	3,3	11	195

*\*energia da radiação gama das fontes*



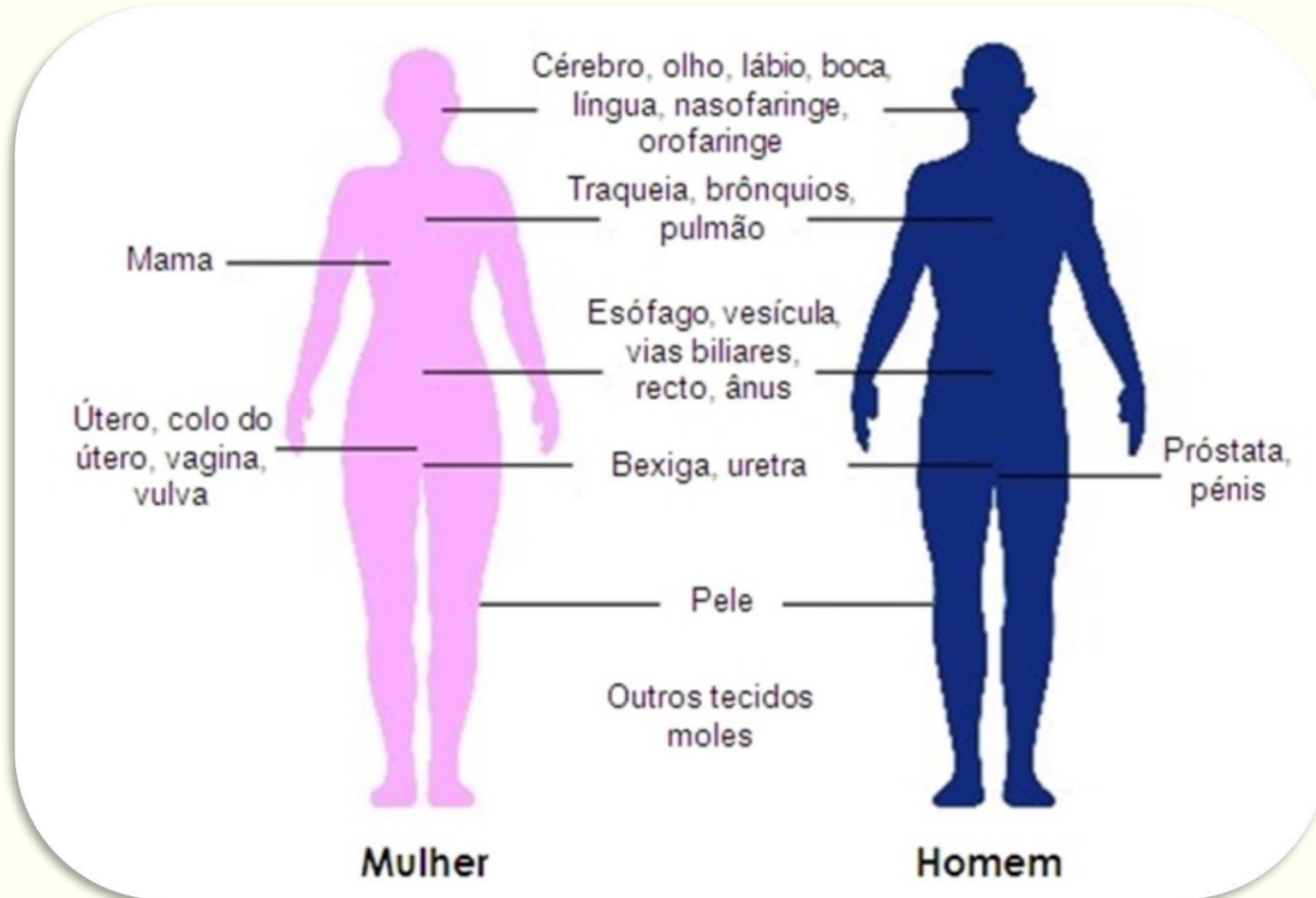
# Braquiterapia e seus aspectos físicos – Fontes radioativas

---

Fonte	Aplicação
$^{60}\text{Co}$	E utilizado em aplicadores oftalmológicos, com agulhas ou tubos, e em tratamentos HDR ginecológicos, na forma de grânulos.
$^{137}\text{Cs}$	Comercialmente, e apresentada da forma de tubos para aplicadores ginecológicos, e sementes para implantes.
$^{192}\text{Ir}$	E normalmente utilizado em forma de fio podendo ser cortado do tamanho necessário para ser ajustado ao tumor. Uma forma alternativa do Ir-192 são as sementes colocadas em fitas de nylon. O Ir-192 e usado em implantes mamários (forma de fios) e em vários tratamentos HDR intracavitários e intersticiais.
$^{125}\text{I}$	Empregado no implante permanente na próstata. A baixa energia dos fótons do I-125 permite que o paciente se mova durante o tratamento, podendo ter uma vida normal fora do hospital.
$^{198}\text{Au}$	Utilizado na forma de grãos cilíndricos ou sementes, como implantes permanentes (próstata) e pode ser utilizado em pequenas áreas, como a língua, onde implantes com agulha podem ser bastante desconfortáveis.

# Braquiterapia e seus aspectos físicos – Aplicações Clínicas

---



# Braquiterapia e seus aspectos físicos – Carregamento das fontes

---

- ❑ Os tratamentos de braquiterapia têm grande impacto na proteção radiológica dos trabalhadores, uma vez que as fontes radioativas devem ser manuseadas com segurança. Portanto, na proteção radiológica do pessoal, a maneira como os aplicadores são carregados é determinante.
- ❑ Os tratamentos ou implantes de braquiterapia são realizados em uma sala equipada com os instrumentos cirúrgicos necessários e que devem ter proteção adequada para os radioisótopos e suas atividades.
- ❑ Tipos de carregamento (aplicação) das fonte:
  - ❖ Manual
  - ❖ Pós-carregamento (*afterloading*) manual
  - ❖ Pós-carregamento (*afterloading*) automático

# Braquiterapia e seus aspectos físicos – Carregamento das fontes

---

## □ Tipos de carregamento (aplicação) das fonte:

- ❖ Manual - O sistema de carregamento manual consiste em inserir manualmente as fontes radioativas na área de tratamento, utilizando apenas elementos de proteção radiológica para minimizar a exposição do pessoal. O uso de luvas com chumbo e telas de proteção com vidro com chumbo é típico. Dadas as implicações da proteção radiológica, o carregamento manual está sendo abandonado e substituído por sistemas de pós-carregamento.
- ❖ Pós-carregamento (*afterloading*) manual - Neste procedimento, o aplicador é previamente colocado na área de tratamento. Como não há fontes radioativas, não há irradiação para a equipe, podendo ser usada o tempo necessário para uma intervenção adequada. Este modo de carregamento é utilizado apenas em tratamentos com LDR, uma vez que com taxas de dose absorvidas mais altas, a dose efetiva recebida pela equipe pode exceder o limite legal.
- ❖ Pós-carregamento (*afterloading*) automático - São aqueles que permitem o carregamento automático dos aplicadores, sem a necessidade de pessoal estar presente na sala de tratamento. O equipamento de pós-carregamento, como o mostrado na figura no slide a seguir, representou um avanço na proteção radiológica do pessoal.

# Braquiterapia e seus aspectos físicos – Carregamento das fontes

---

- ❑ O equipamento de tratamento de pós-carregamento automático é constituído por um sistema de posicionamento automático das fontes que consiste nos seguintes elementos:
  - ❖ Uma *blindagem*, no qual a fonte permanecerá quando o tratamento não estiver sendo feito.
  - ❖ Um *mecanismo que transporta a fonte* da blindagem para o aplicador localizado no paciente, conectando-se diretamente ou através de um tubo de transferência.
  - ❖ Um *sistema que mantém a fonte em cada posição* do interior do aplicador durante o tempo pré-definido através de cálculos feitos pelo Serviço de física médica.
  - ❖ *Mecanismos de segurança* que permitem que a fonte seja retraída para sua posição de segurança em caso de emergência.



# Braquiterapia e seus aspectos físicos – Estudo de Caso

---

- ❑ O câncer de mama é o mais comum entre as mulheres. Se diagnosticado e tratado oportunamente, o prognóstico é relativamente bom.
- ❑ No Brasil, as taxas de mortalidade por câncer de mama continuam elevadas, muito provavelmente porque a doença ainda é diagnosticada em estádios avançados.
- ❑ A braquiterapia é uma alternativa à irradiação externa de toda a mama, pois permite que a radiação seja aplicada dentro da mama, no local da *lumpectomia*. Essa técnica assegura que a maior dose de radiação será dada justamente onde ela é mais necessária, ao mesmo tempo em que a radiação que atinge as estruturas vizinhas saudáveis, como arcos costais, pulmão, coração e o tecido sadio da mama é bastante reduzida.
  - ❖ *Lumpectomia é a remoção cirúrgica de uma pequena parte da mama, feita geralmente durante o tratamento de um tumor maligno da mama.*



# Braquiterapia e seus aspectos físicos – Estudo de Caso

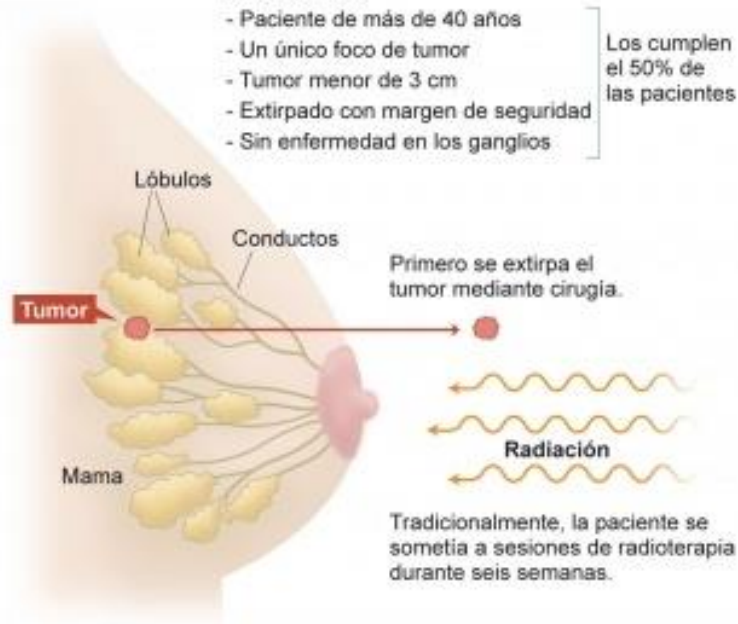
## BRAQUITERAPIA EN CÁNCER DE MAMA

En ciertos tumores de mama se puede realizar un tratamiento de radioterapia dirigido a la zona del tumor extirpado

### REQUISITOS:

- Paciente de más de 40 años
- Un único foco de tumor
- Tumor menor de 3 cm
- Extirpado con margen de seguridad
- Sin enfermedad en los ganglios

Los cumplen el 50% de las pacientes

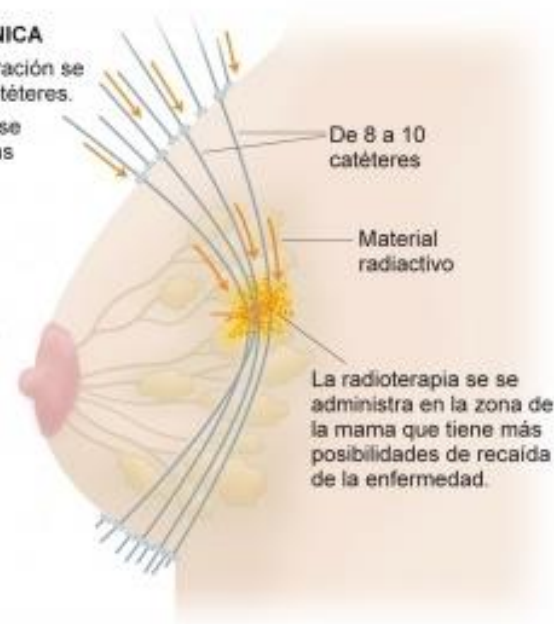


### LA NUEVA TÉCNICA

En la misma operación se colocan varios catéteres.

A través de ellos se inyectan partículas radiactivas en la zona en la que se encontraba el tumor.

Sólo son necesarias sesiones durante cinco días.





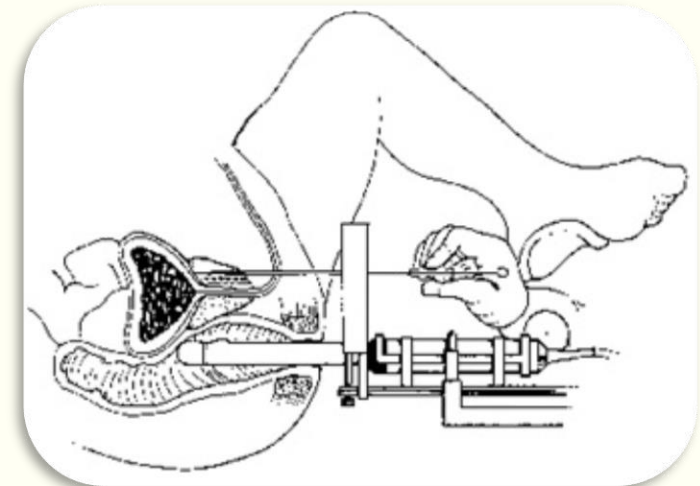
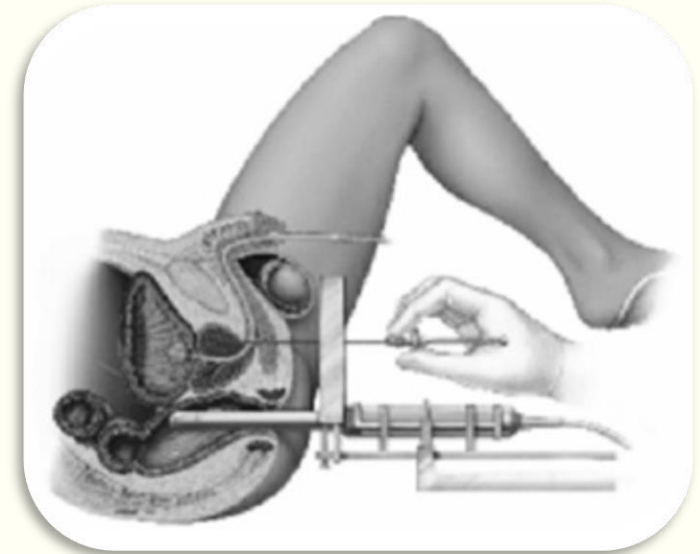
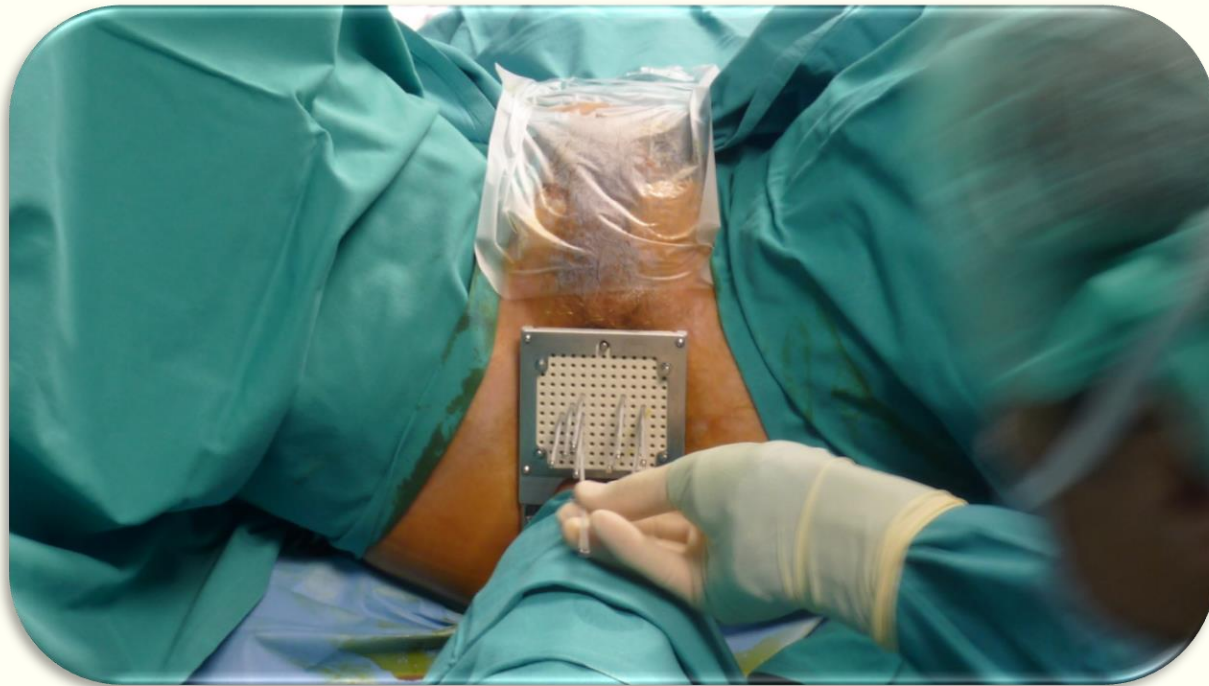
# Braquiterapia e seus aspectos físicos – Estudo de Caso

---

- ❑ No Brasil, o câncer de próstata é o segundo mais comum entre os homens. Sua taxa de incidência é cerca de seis vezes maior nos países desenvolvidos em comparação aos países em desenvolvimento.
- ❑ Estima-se que um em cada dez homens vai desenvolver câncer de próstata em alguma fase de sua vida.
- ❑ O tumor se inicia na maioria das vezes na zona periférica, para depois crescer e invadir as demais áreas da próstata. Pode permanecer confinado à glândula, mas também pode se expandir, afetando as regiões vizinhas ou, em casos avançados, alcançar partes mais distantes, a exemplo dos gânglios (do sistema linfático) e dos ossos. São as conhecidas "metástases".

# Braquiterapia e seus aspectos físicos – Estudo de Caso

---



# Braquiterapia e seus aspectos físicos

---

## □ Links de vídeo sobre braquiterapia

- ❖ [https://www.youtube.com/watch?v=cpv-wu\\_rseg](https://www.youtube.com/watch?v=cpv-wu_rseg)
- ❖ <https://www.youtube.com/watch?v=myxl4HeCcN4>
- ❖ <https://www.youtube.com/watch?v=li-rgH6SAp4>
- ❖ <https://www.youtube.com/watch?v=fDLQf4F9GBI>
- ❖ <https://www.youtube.com/watch?v=Dse1V7qDpoM>
- ❖ <https://www.youtube.com/watch?v=s6TxdF-NW1s>
- ❖ <https://www.youtube.com/watch?v=iusnn76nnvU>

# Braquiterapia e seus aspectos físicos – Proteção Radiológica

---

- ❑ Em todas as atividades envolvendo o uso de fonte de radiação ou material radioativo é indispensável o conhecimento dos requisitos básicos de **proteção radiológica** (justificação, limitação de dose e otimização) bem como os conceitos necessários para que as doses ocupacionais e de indivíduos do público, obedecem os limites estabelecidos na legislação em vigor e as ações de otimização de dose definidas no plano de radioproteção da instalação radioativa.
- ❑ Observar a legislação geral e específica de proteção radiológica vigente é absolutamente necessária, bem como possuir a capacitação e treinamentos adequados para praticá-las.
- ❑ No próximo slide são referenciadas as normas CNEN que devem ser obedecidas para a prática de radioterapia e braquiterapia.

# Braquiterapia e seus aspectos físicos – Proteção Radiológica

---

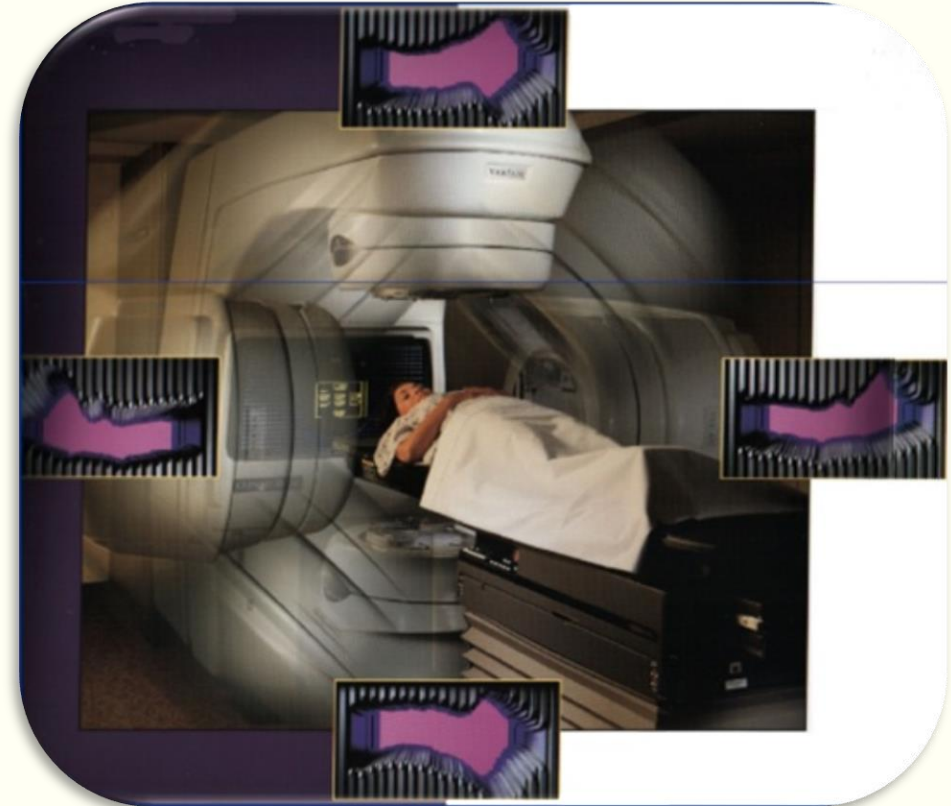
## □ Normas CNEN:

- ❖ NN 3.01- Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica
- ❖ NN 3.02 – Serviços de Radioproteção
- ❖ NN 6.02 – Licenciamento de Instalações Radioativas
- ❖ NN 6.10 – Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Radioterapia
  - tem por objetivo estabelecer os requisitos necessários à segurança e proteção radiológica, relativos ao uso de fontes de radiação constituídas por materiais ou equipamentos capazes de emitir radiação ionizante, para fins terapêuticos. Ela se aplicam às exposições ocupacionais e exposições médicas, conforme definidas na Norma CNEN NN 3.01 Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica, em instalações radiativas onde se praticam teleterapia e braquiterapia, chamadas nesta Norma de “Serviços de Radioterapia”.
- ❖ NN 7.01 – Certificação da Qualidade de Supervisores de Proteção Radiológica

# Avanços tecnológicos na radioterapia - IMRT

---

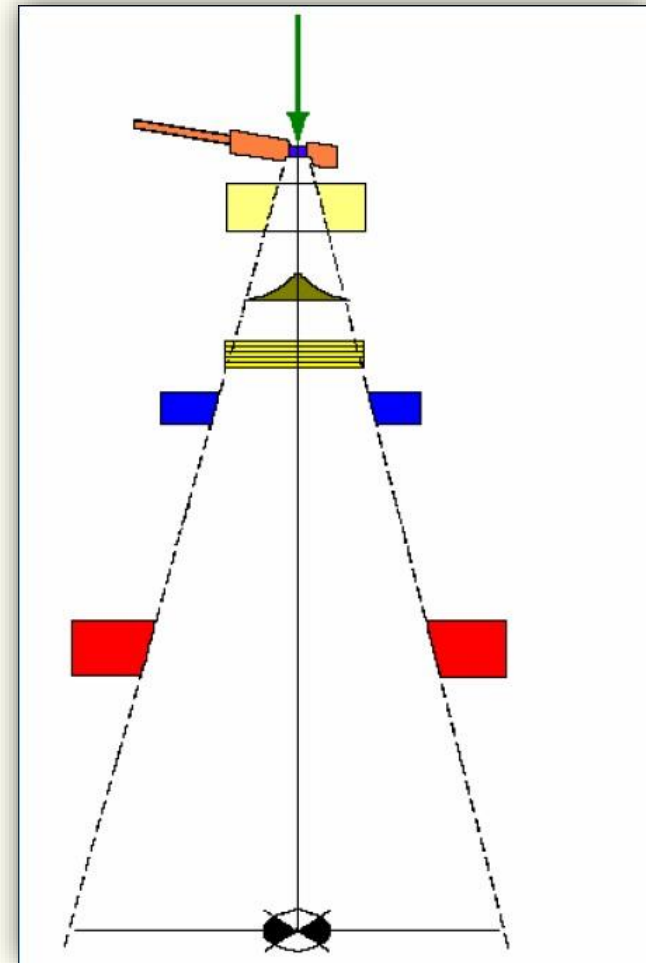
- ❑ A técnica de irradiação denominada de feixe de intensidade modulada (*I.M.R.T. - Intensity Modulated Radiation Therapy*), consiste em moldar o feixe de radiação das composições de campos de um acelerador de tal forma a irradiar o tumor exatamente na sua forma, ou muito próximo a isso.
- ❑ Para tal utilizam-se colimadores dinâmicos, que durante o movimento e liberação do feixe de radiação vão abrindo e fechando conforme a necessidade de intensidade de radiação.



# Avanços tecnológicos na radioterapia - IMRT

---

IMRT

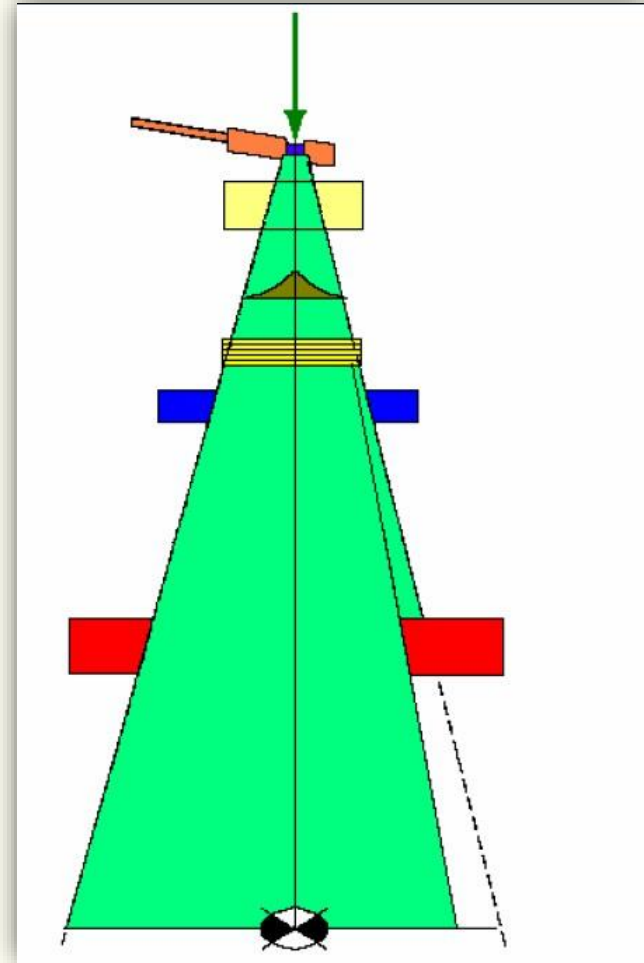




# Avanços tecnológicos na radioterapia - IMRT

---

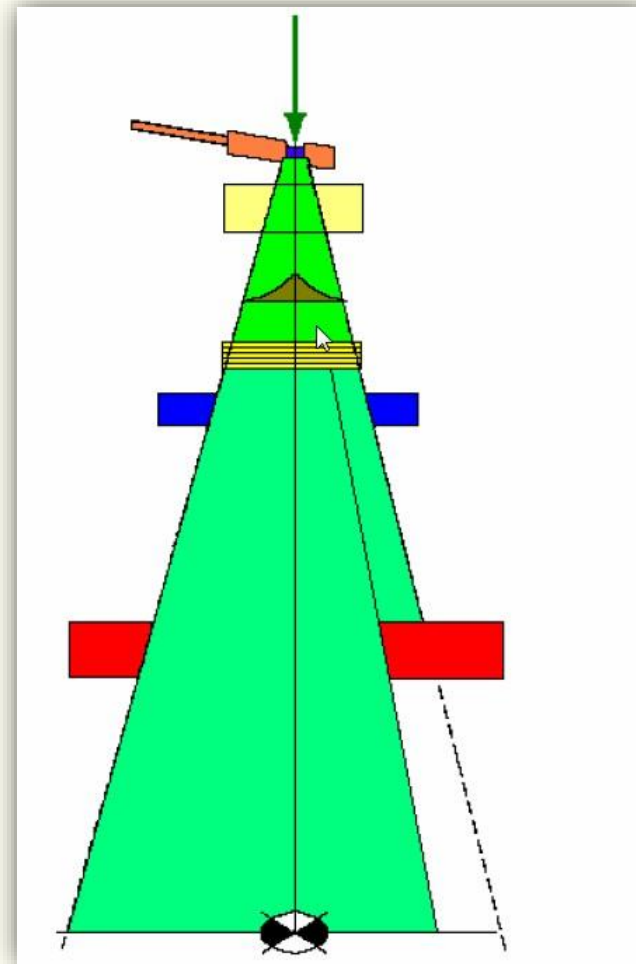
IMRT



# Avanços tecnológicos na radioterapia - IMRT

---

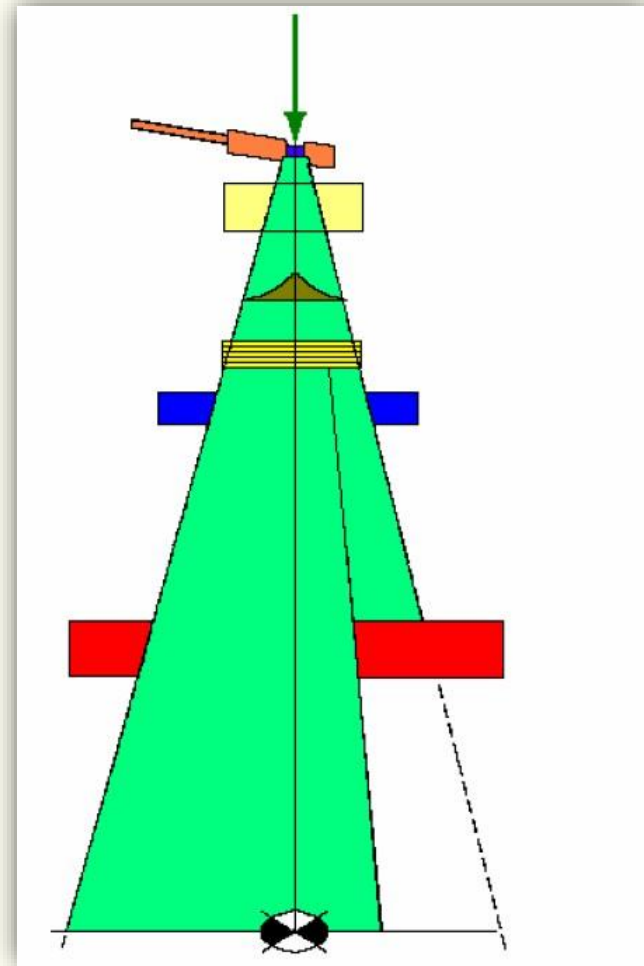
IMRT



# Avanços tecnológicos na radioterapia - IMRT

---

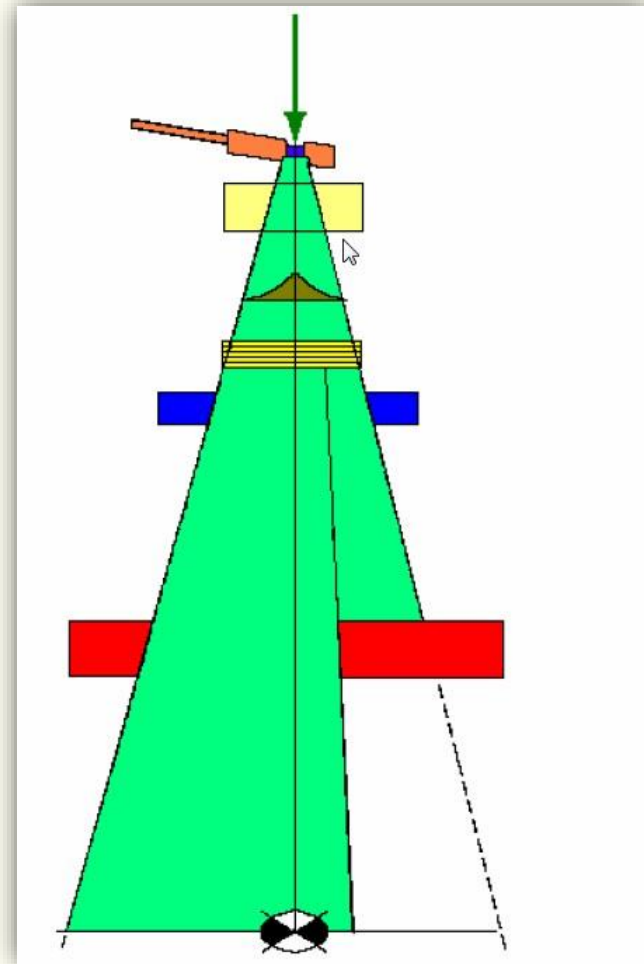
IMRT



# Avanços tecnológicos na radioterapia - IMRT

---

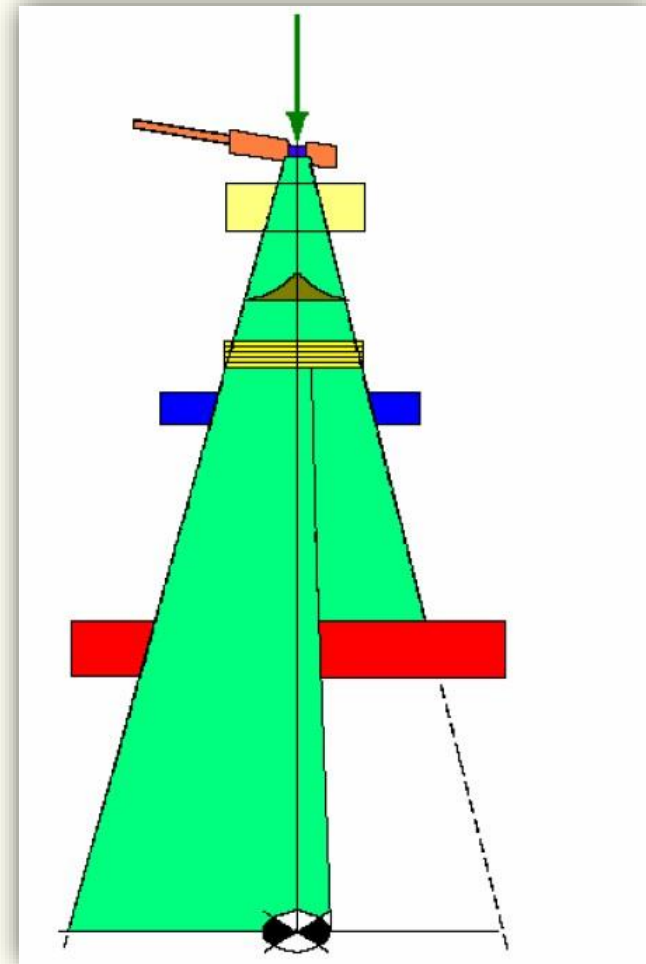
IMRT



# Avanços tecnológicos na radioterapia - IMRT

---

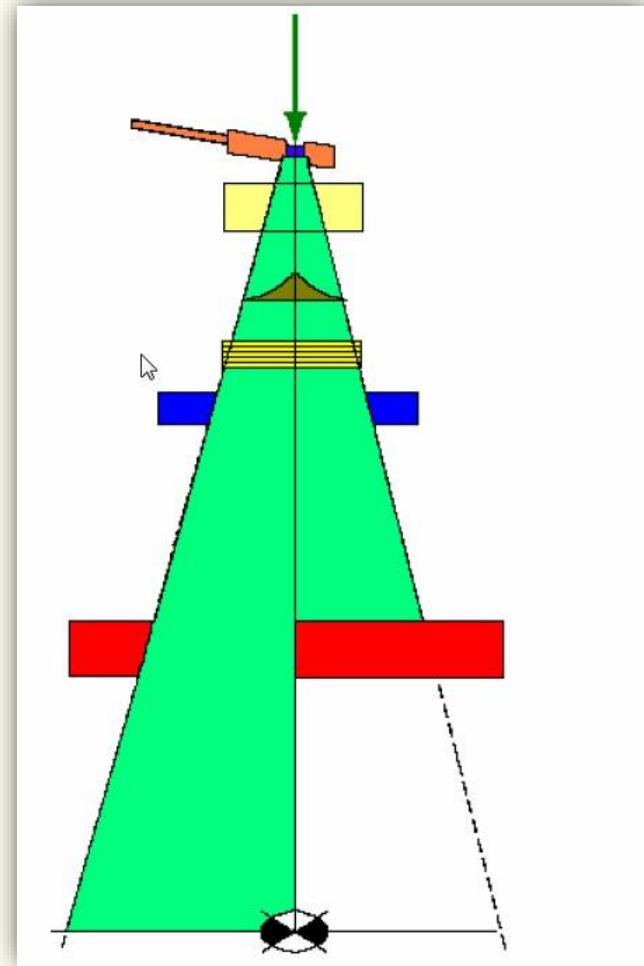
IMRT



# Avanços tecnológicos na radioterapia - IMRT

---

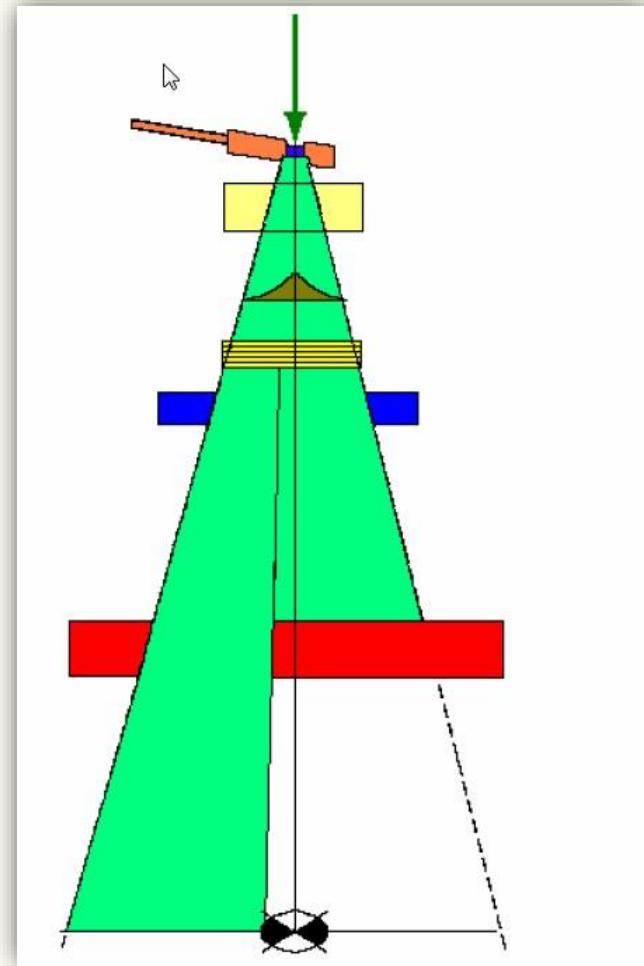
IMRT



# Avanços tecnológicos na radioterapia - IMRT

---

IMRT

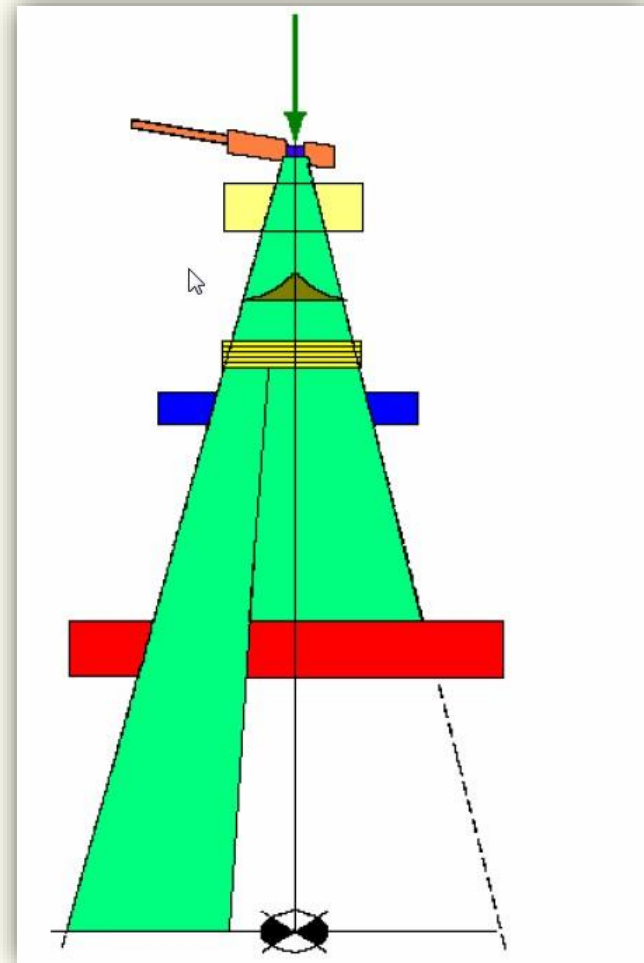




# Avanços tecnológicos na radioterapia - IMRT

---

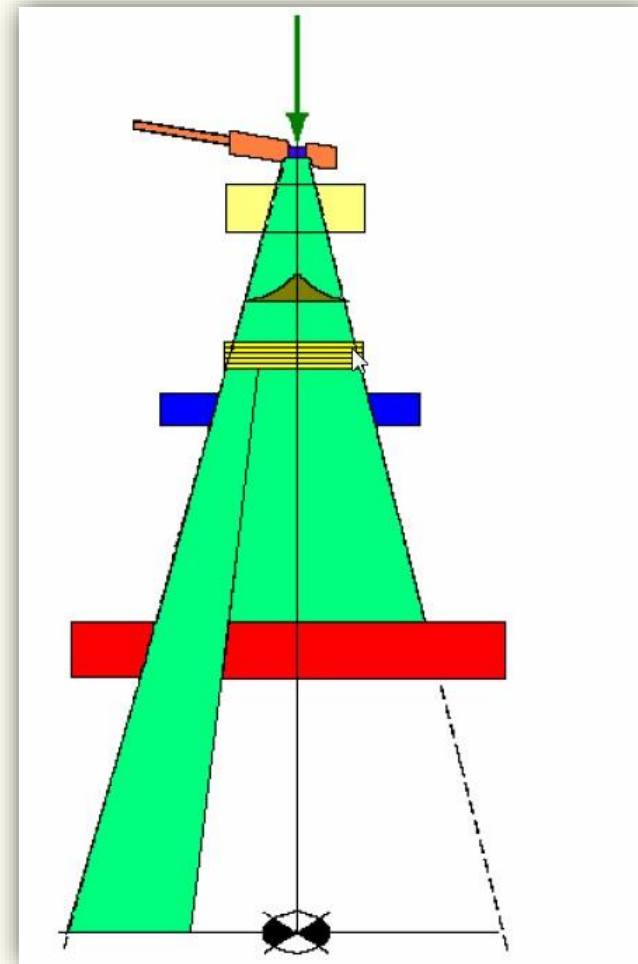
IMRT



# Avanços tecnológicos na radioterapia - IMRT

---

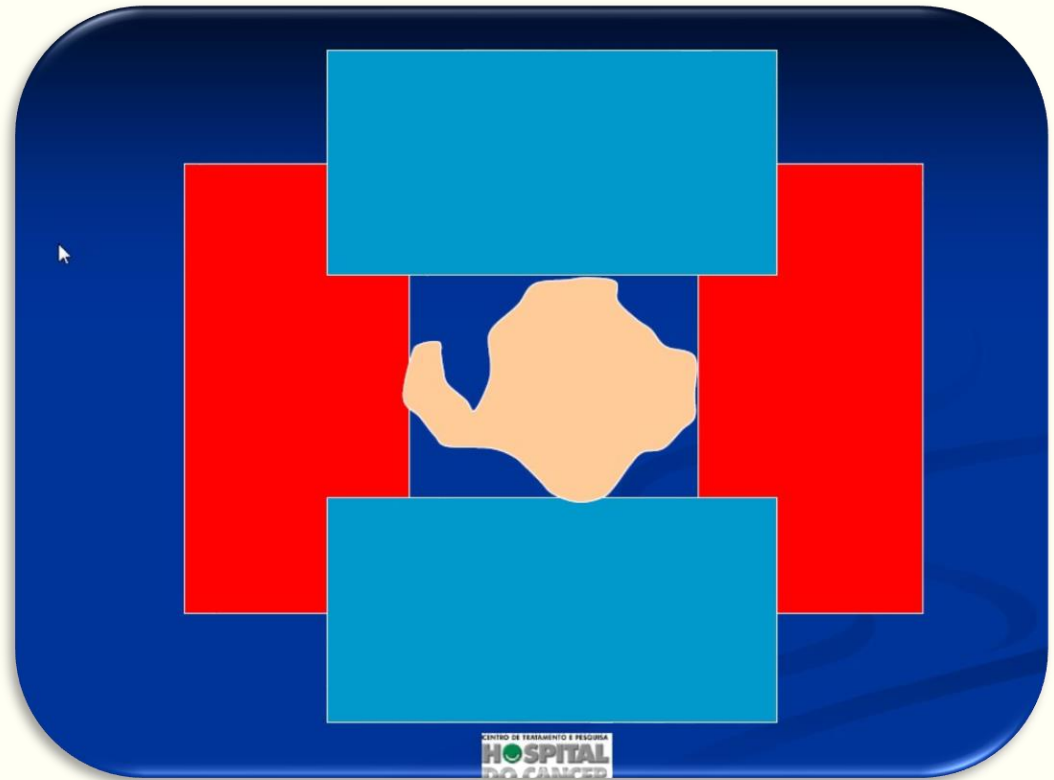
IMRT



# Avanços tecnológicos na radioterapia - IMRT

---

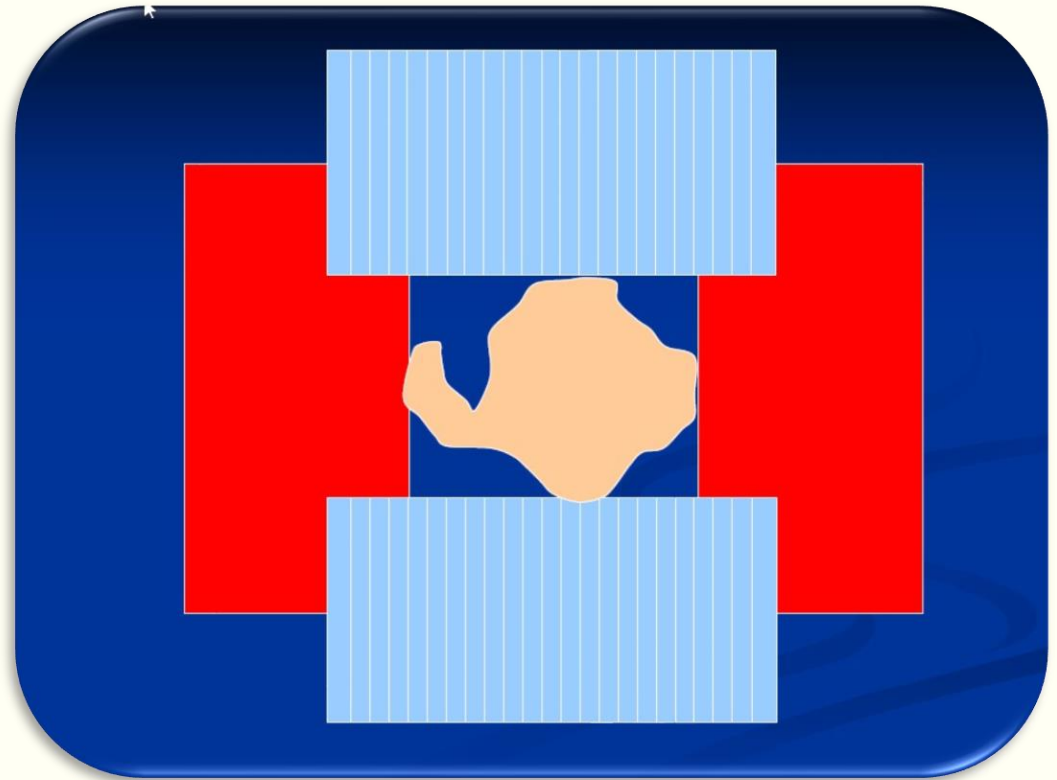
IMRT



# Avanços tecnológicos na radioterapia - IMRT

---

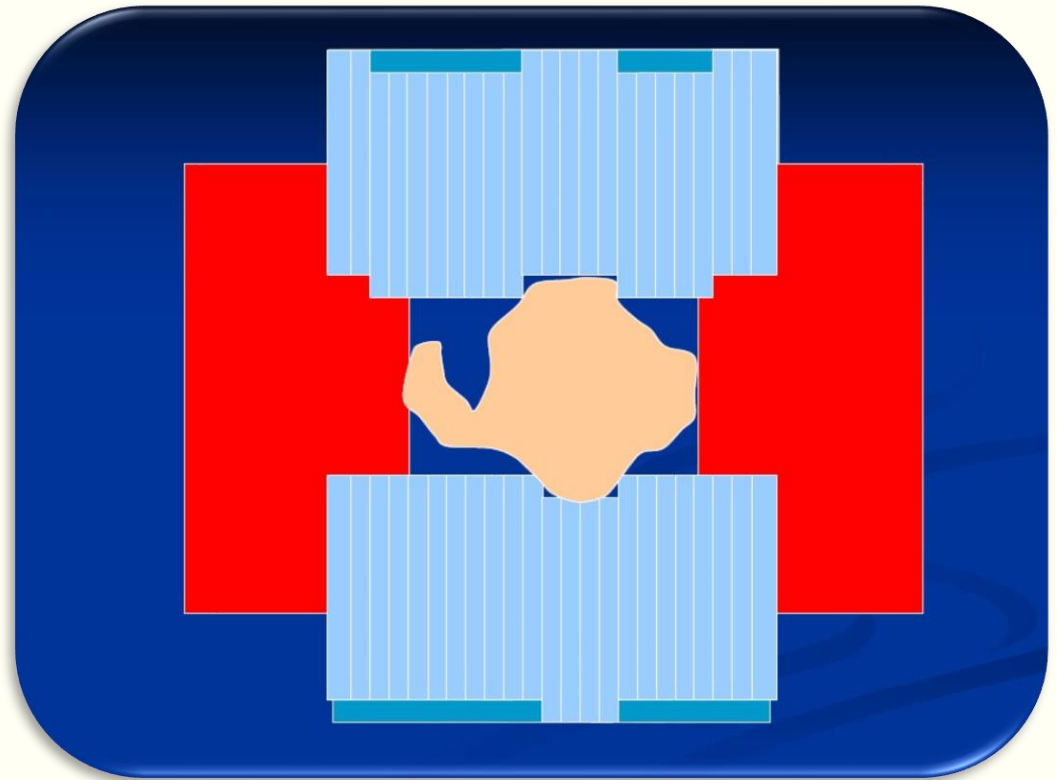
IMRT



# Avanços tecnológicos na radioterapia - IMRT

---

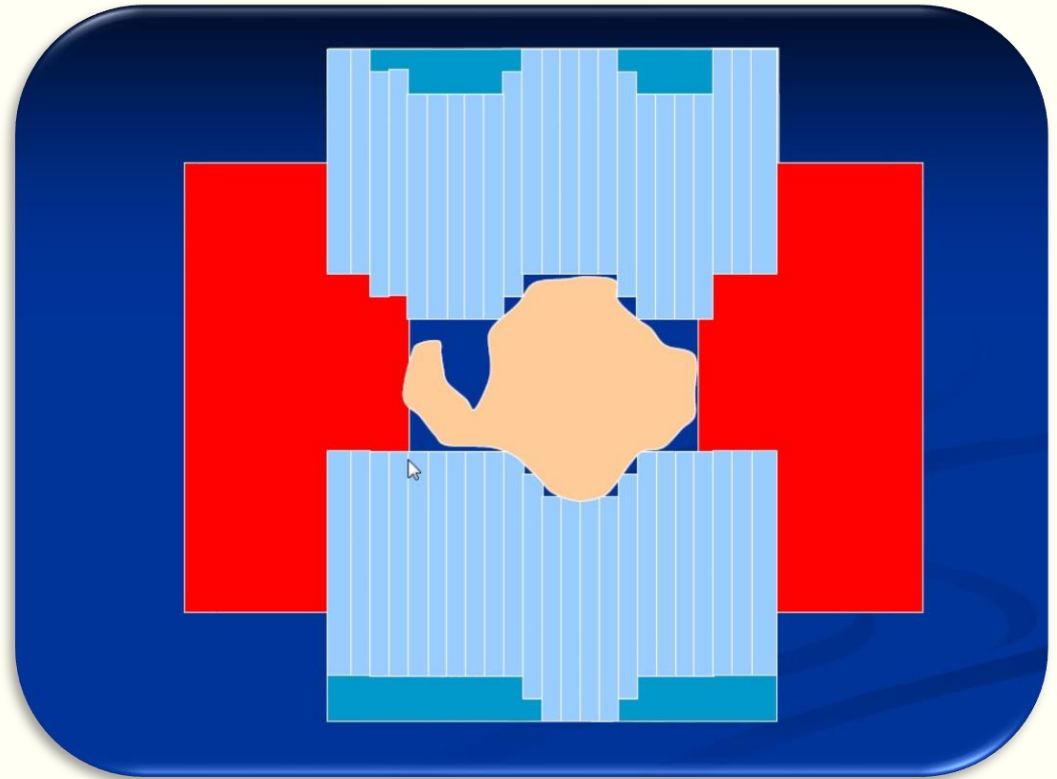
IMRT



# Avanços tecnológicos na radioterapia - IMRT

---

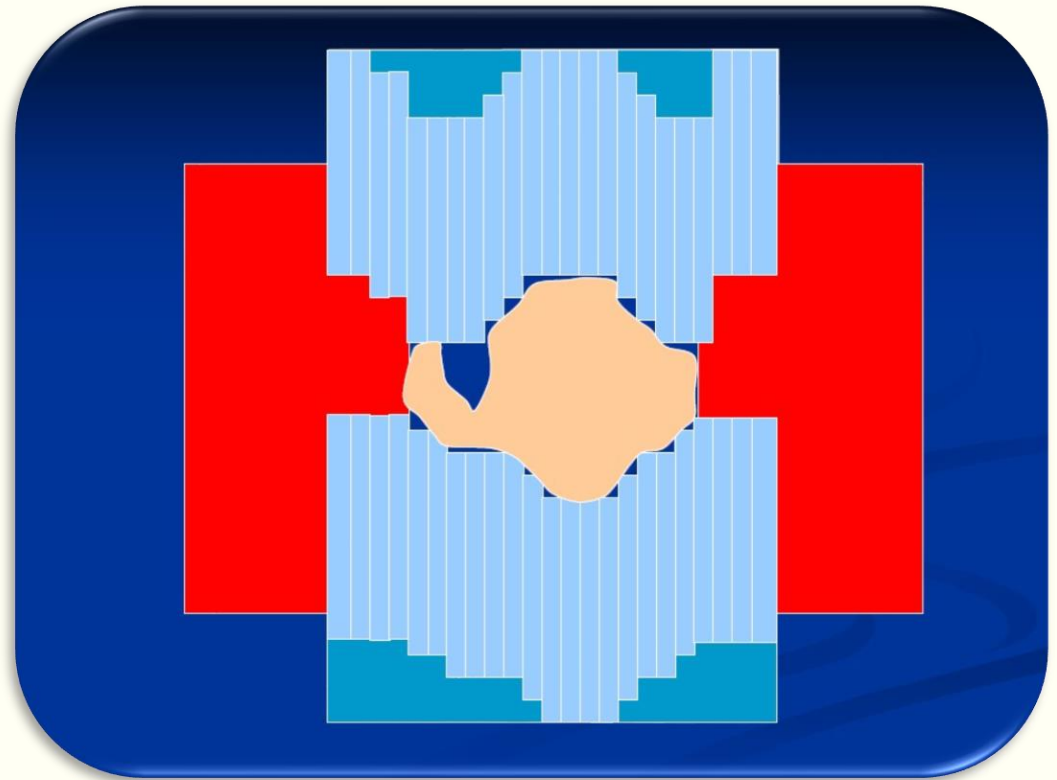
IMRT



# Avanços tecnológicos na radioterapia - IMRT

---

IMRT

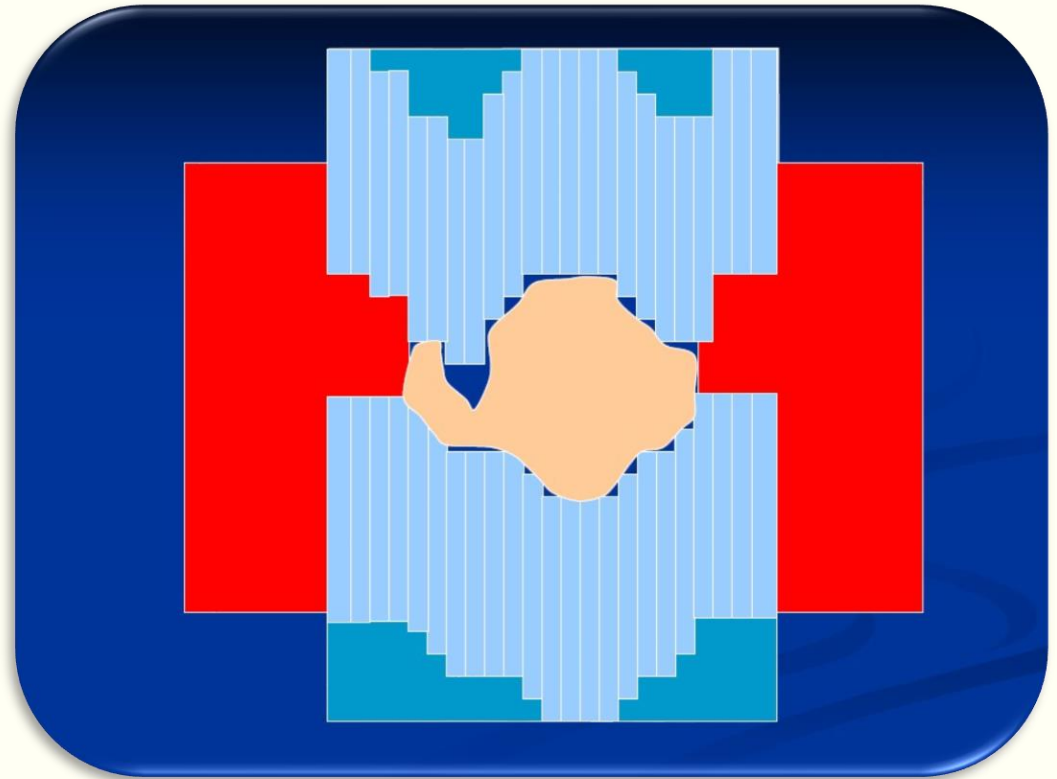




# Avanços tecnológicos na radioterapia - IMRT

---

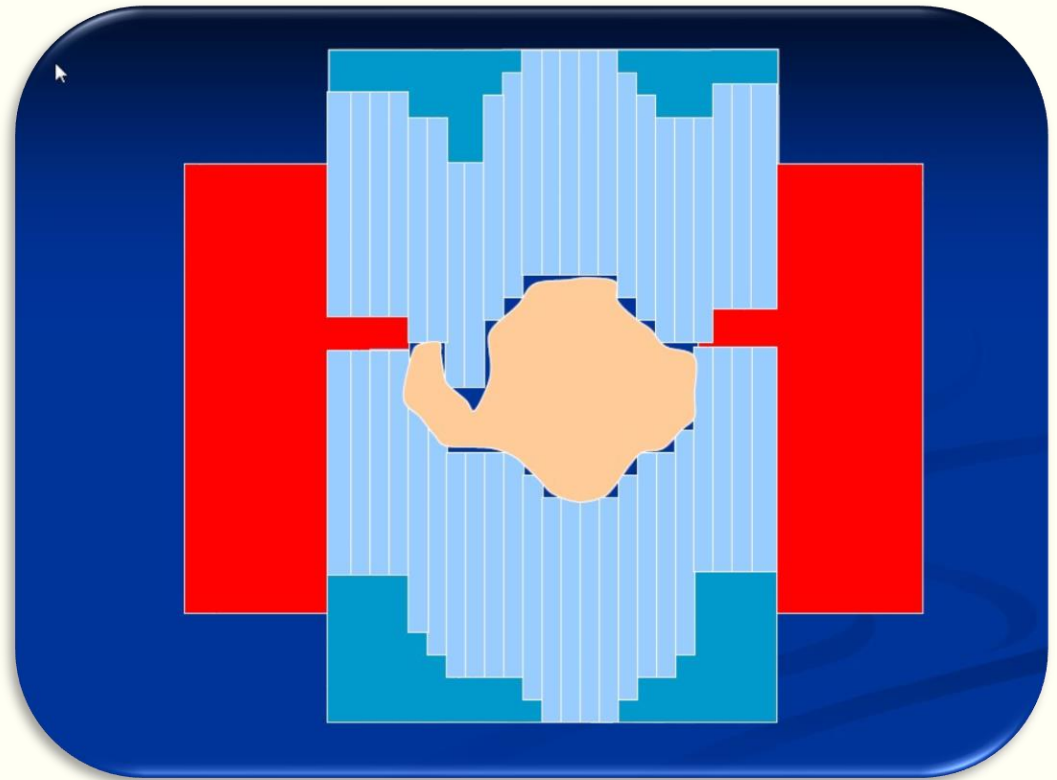
IMRT



# Avanços tecnológicos na radioterapia - IMRT

---

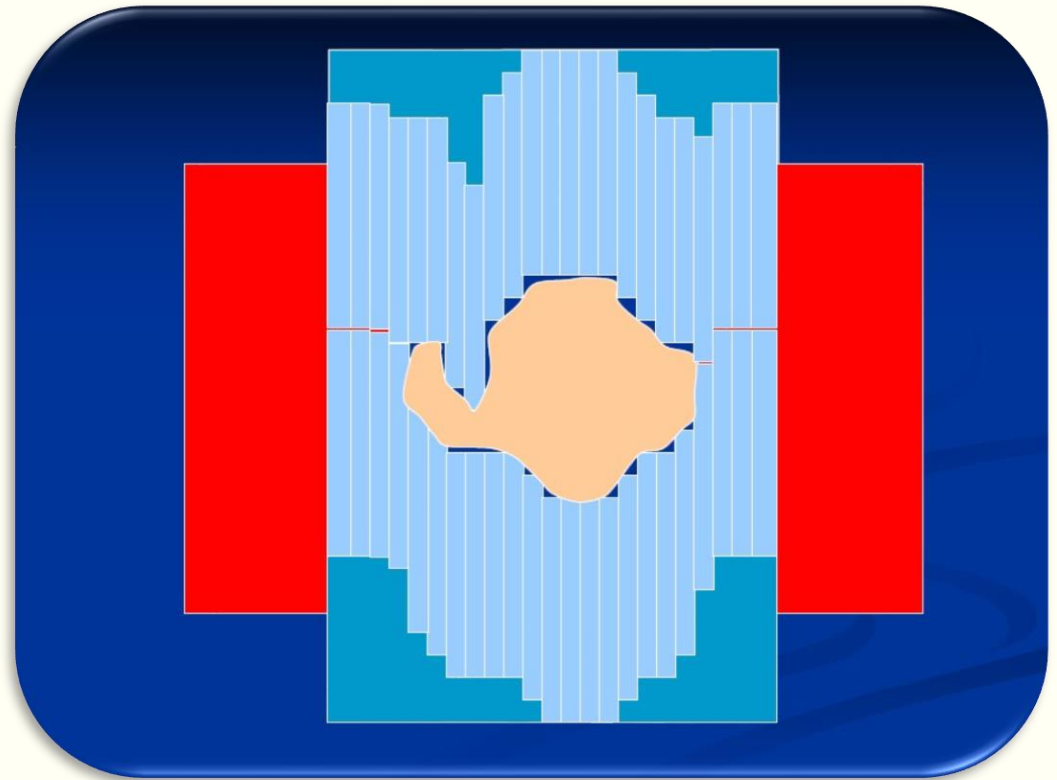
IMRT



# Avanços tecnológicos na radioterapia - IMRT

---

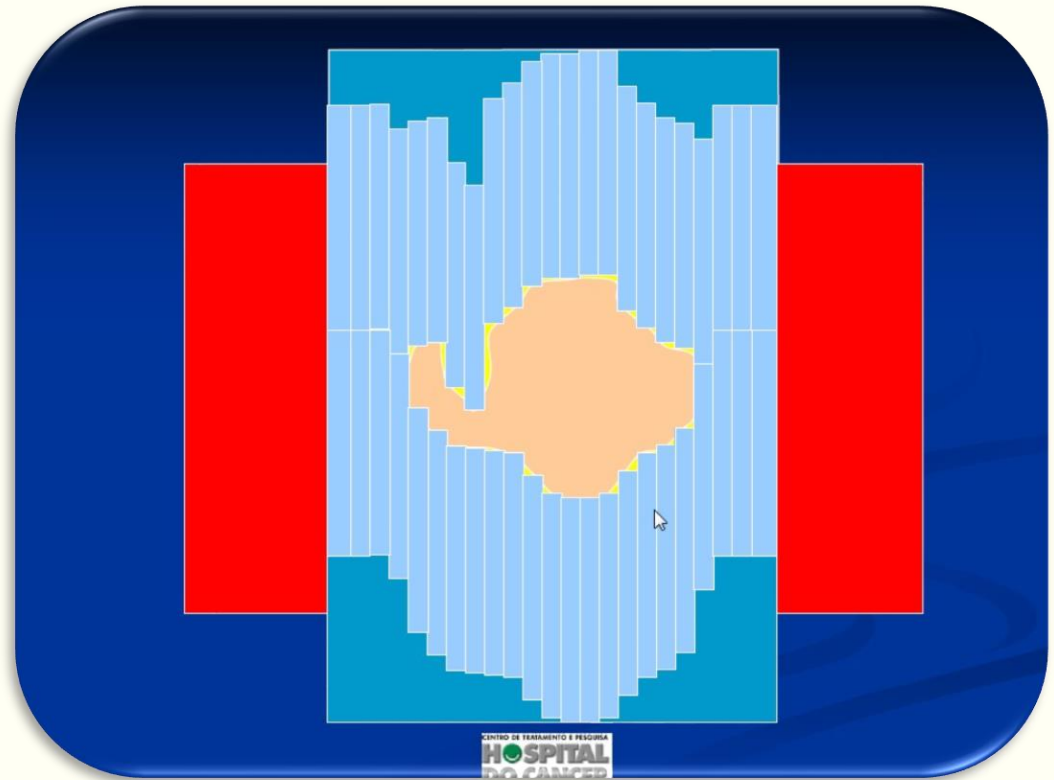
IMRT



# Avanços tecnológicos na radioterapia - IMRT

---

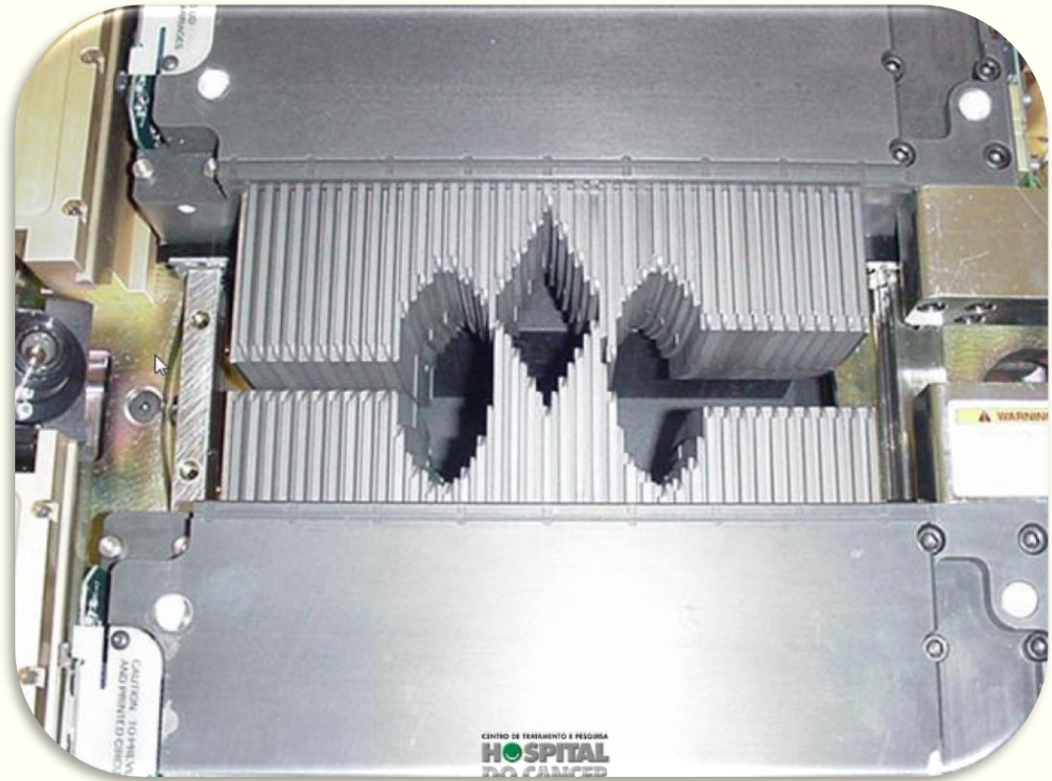
IMRT



# Avanços tecnológicos na radioterapia - IMRT

---

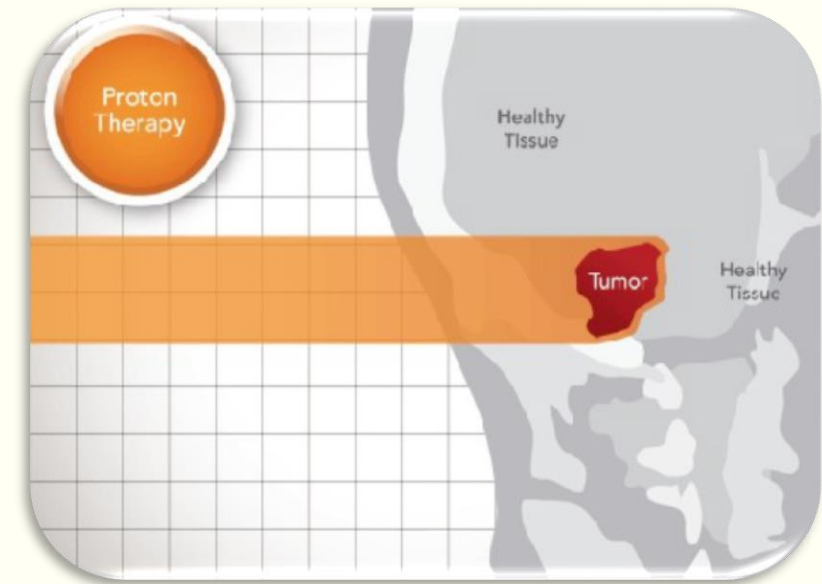
IMRT



# Avanços tecnológicos na radioterapia - Protonterapia

---

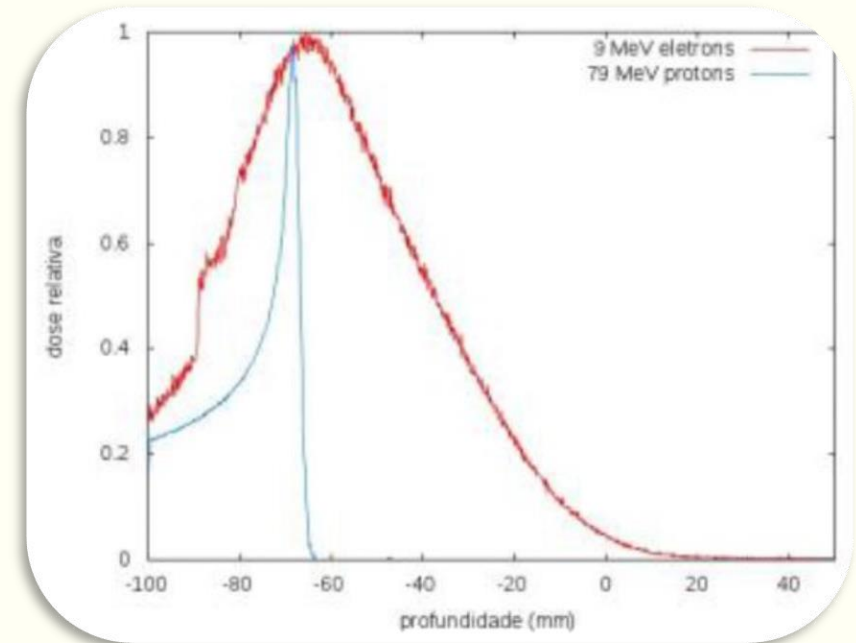
- O próton é 2000 vezes mais pesado que o elétron, permitindo que o feixe não tenha muitos desvios, depositando sua energia de forma mais localizada.
- A maior parte da sua energia é depositada nos últimos milímetros da sua trajetória antes de parar. Este fenômeno é conhecido como o “pico de Bragg” e demonstra que um tratamento radioterápico utilizando feixes de prótons, pode ser muito mais preciso no que diz respeito aos efeitos colaterais no tecido saudável.
- Entretanto, o tratamento com prótons gera nêutrons secundários, e os mesmos tem uma deposição de energia no paciente, ainda que pequena. Essa é uma desvantagem da terapia com prótons.



# Avanços tecnológicos na radioterapia - Protonterapia

---

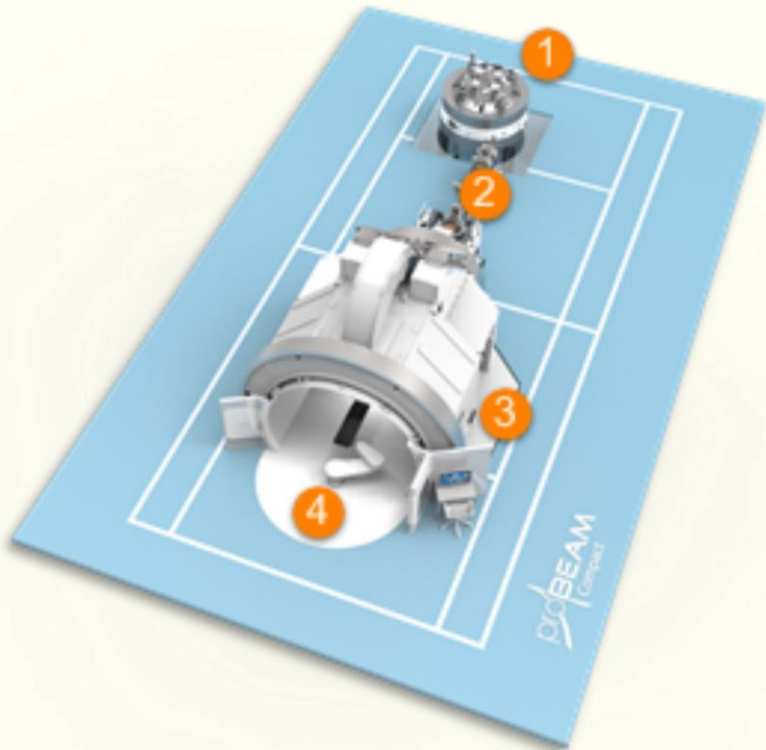
- A figura apresenta as distribuições de dose para o feixe de prótons e de elétrons.
- O feixe de prótons apresenta uma dose relativa de entrada menor do que os elétrons, demonstrando que a maior concentração de dose será depositada no tumor, ao contrário dos elétrons.
- Percebe-se também que após o tumor, que se encontra na profundidade de -70 mm na figura, a dose relativa do feixe de prótons cai rapidamente, enquanto que o feixe de elétrons mantém uma dose relativa alta após a profundidade de interesse.





# Avanços tecnológicos na radioterapia - Protonterapia

---



1. **Ciclotron supercondutor:** O ciclotron supercondutor isócrona usa ondas eletromagnéticas para acelerar os feixes de prótons
2. **Sistema de transporte de feixes:** O sistema de transporte de feixes concentra e molda o feixe e o direciona para a sala de tratamento com o tamanho de feixe pequeno exigido pela IMPT e permitindo que os médicos atinjam pontos muito pequenos na faixa de energia completa
3. **Gantry com rotação de 360°:** O gantry gira 180° em cada direção, proporcionando rotações de tratamento de 360° ao redor do paciente. Possibilita o tratamento em qualquer ângulo e, ao mesmo tempo, minimiza a necessidade de reposicionar o paciente. É mais fácil para o paciente, e o tempo de tratamento é mais rápido e eficiente do que o de outras soluções de aplicação de prótons.
4. **Sala de tratamento de pacientes:** O sofisticado sistema de posicionamento do paciente se move em todas as direções

# Avanços tecnológicos na radioterapia - Protonterapia

---



1. **Sala de tratamento de pacientes:** O sofisticado sistema de posicionamento do paciente se move em todas as direções.
2. **Gantry com rotação de 360°:** O gantry gira 180° em cada direção, proporcionando rotações de tratamento de 360° ao redor do paciente. Possibilita o tratamento em qualquer ângulo e, ao mesmo tempo, minimiza a necessidade de reposicionar o paciente. É mais fácil para o paciente, e o tempo de tratamento é mais rápido e eficiente do que o de outras soluções de aplicação de prótons.
3. **Sistema de transporte de feixes:** O sistema de transporte de feixes concentra e molda o feixe, e o direciona para a sala de tratamento com o tamanho de feixe pequeno exigido pela IMPT e permitindo que os médicos atinjam pontos muito pequenos em toda a faixa de energia.
4. **Ciclotron supercondutor:** O ciclotron supercondutor isócrona usa ondas eletromagnéticas para acelerar o feixe de prótons.

## Referência bibliográfica

---

- Tauhata, L. et al, Radioproteção e dosimetria: Fundamentos – 9º revisão, Rio de Janeiro – IRD/CNEN, 2013
- Martin, L. Elementos de Radiofísica para técnicos superiores en radioterapia y dosimetria, Editora Elsevier. Madri, Espanha, 2016
- Ramos, M. e Tauhata, L. Grandezas e unidades para radiação ionizante – Rio de Janeiro – LNMRI/IRD/CNEN, 2002 – revisado em 2011
- Thuler, L. C. S. e Da Silva, M. J. S. ABC do câncer: abordagens básicas para o controle do câncer / Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva; organização Mario Jorge Sobreira da Silva. – 3. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro: Inca, 2017. 108 p.



---

# RADIOTERAPIA

[Prof. Luciano Santa Rita](#)