

Curso de Verão 2018 – IF-USP

**INTRODUÇÃO À FÍSICA MÉDICA**

Elisabeth M. Yoshimura  
[e.yoshimura@if.usp.br](mailto:e.yoshimura@if.usp.br)  
 e Ricardo A. Terini  
[rterini@if.usp.br](mailto:rterini@if.usp.br)

Paulo R. Costa  
[pcosta@if.usp.br](mailto:pcosta@if.usp.br)

Bloco F – Conjunto Alessandro Volta

Grupo de Dosimetria das Radiações e Física Médica  
 GDRFM - IFUSP

Curso de Verão 2018 – IF-USP

**INTRODUÇÃO À FÍSICA MÉDICA**

Programa básico:

- Breve Histórico sobre a Física Médica
- Efeitos biológicos da radiação e Proteção Radiológica
- Diagnóstico por imagens: radiologia e medicina nuclear
- Radioterapia: Introdução, teleterapia e braquiterapia
- O Físico Médico: formação e campo de trabalho atual e futuro

Curso de Verão 2018 – IF-USP

**Radioterapia - princípios**

O que é?  
 Modalidades  
 Um pouco de Radiobiologia  
 O papel dos Físicos  
 Evolução Técnica

Radioterapia

**Objetivo:** empregar a radiação ionizante para causar o máximo de dano ao tumor terapêutico com o mínimo de sequelas para os tecidos saudáveis. Pode ser curativa ou paliativa.

Não é uma técnica que se quer erradicar o tumor.

Uso de fontes radioativas não-seladas: Medicina Nuclear  
 Principalmente RadiiodoTerapia

**Teleterapia**  
 Fracionada: 2D, 3D conformacional, Arco-volumétrico  
 Aplicação Clínica: Radiocirurgia, IMRT, Intraoperatória

**Braquiterapia**  
 Taxa de dose: Fontes radioativas, Raios X em miniatura

Uso de fontes radioativas não-seladas: Medicina Nuclear  
 Principalmente RadiiodoTerapia

**Radioterapia - RadioCirurgia**

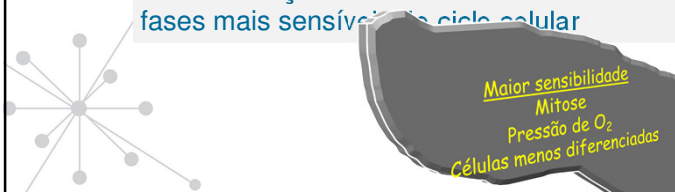
Radiocirurgia estereotáxica:  
**Lesões pequenas**  
**Tecidos vizinhos “delicados”**  
**Sem metástases**  
**Pouco movimento de órgãos (margem estreita)**



**Radioterapia - radiobiologia**

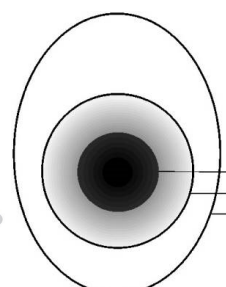
Fracionamento atende a 4 motivos principais:  
**Reparo** (recuperação) dos danos sub-letais  
**Repopulação** de tecidos saudáveis  
**Reoxigenação** de células tumorais sobreviventes  
**Redistribuição** das células tumorais em fases mais sensíveis do ciclo celular

*Maior sensibilidade  
 Mitose  
 Pressão de O<sub>2</sub>  
 Células menos diferenciadas*




**Radioterapia – volumes de interesse**

**GTV, CTV, PTV**



Gross tumour volume  
 Clinical target volume  
 Planning target volume

Em contrapartida se definem também os **órgãos sob risco (organs at risk)** – tecidos saudáveis radio-sensíveis irradiados também e têm dose de tolerância



**Radioterapia - radiobiologia**

**IDEAL**

RADIATION ONCOLOGY PHYSICS: A HANDBOOK FOR TEACHERS AND STUDENTS, IAEA, cap. 14

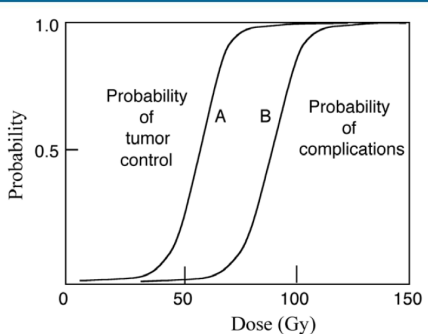
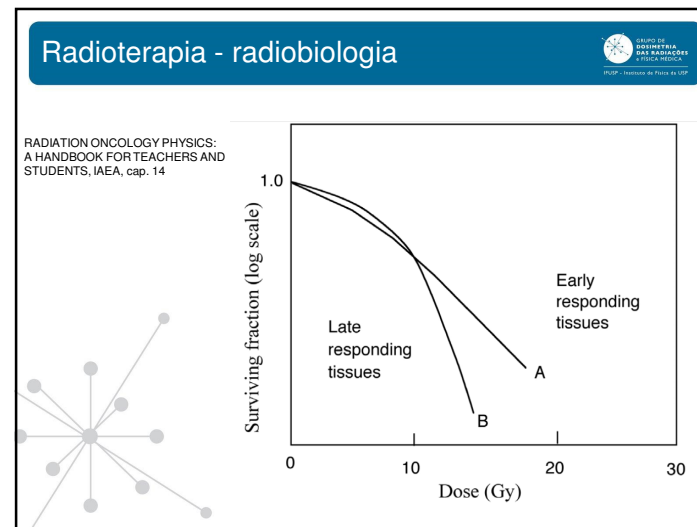
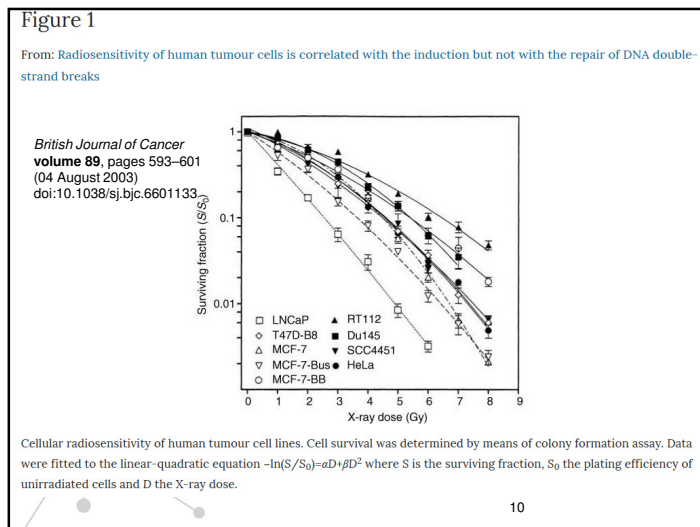
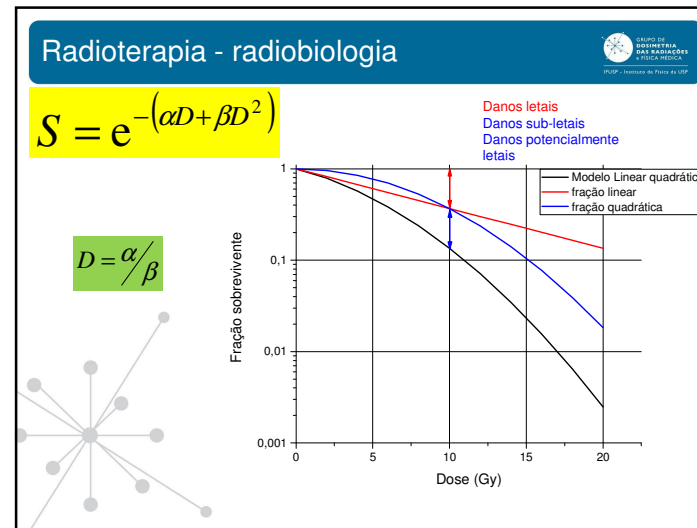
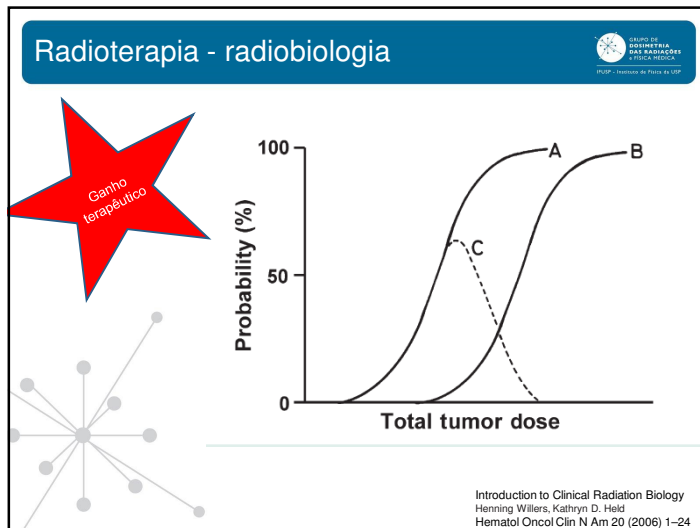


FIG. 14.4. The principle of therapeutic ratio. Curve (A) represents the tumour control probability; curve (B) the probability of complications. The total dose is delivered in 2 Gy fractions.



### Radioterapia – efeitos de fracionamento

Introduction to Clinical Radiation Biology  
Henning Willers, Kathryn D. Held  
Hematol Oncol Clin N Am 20 (2006) 1–24

### Radioterapia – efeitos do tipo de radiação

RADIATION ONCOLOGY  
PHYSICS:  
A HANDBOOK FOR  
TEACHERS AND  
STUDENTS, IAEA, cap. 14

LET: transferência linear de energia – energia perdida pela partícula por unidade de caminho

### Radioterapia – efeitos do tipo de radiação

## Difference of Tract Properties

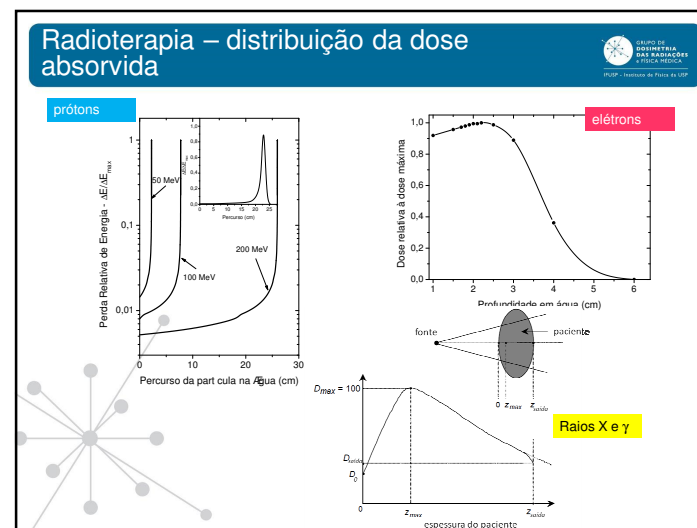
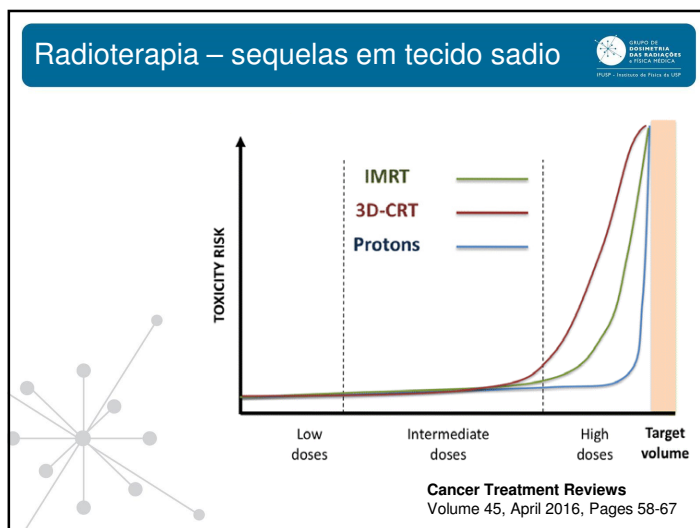
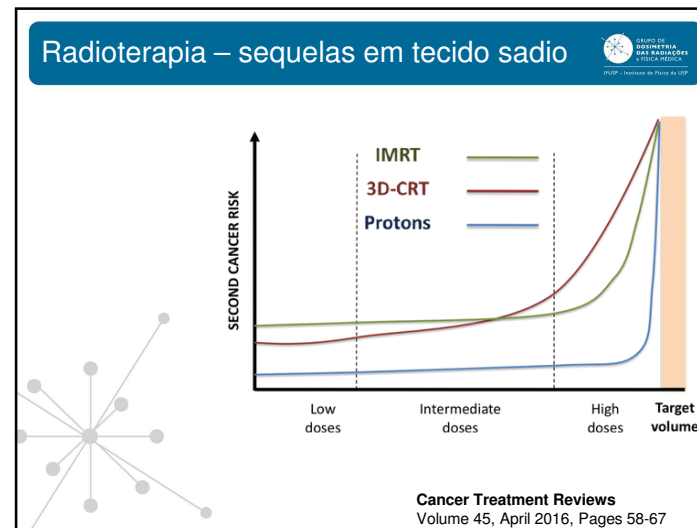
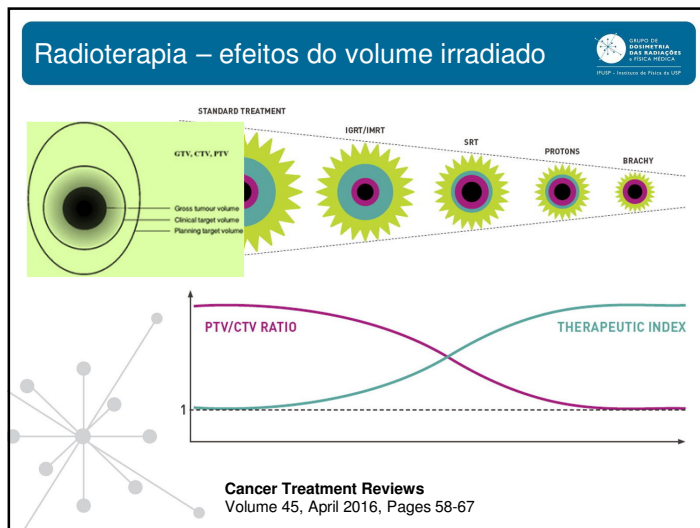
LET: transferência linear de energia – energia perdida pela partícula por unidade de caminho

<http://inpp.ohio.edu/~massey/PHY569L/Module6.pdf>

### Radioterapia – efeitos de oxigenação

FIG. 14.5. Typical cell surviving fractions for x rays, neutrons and  $\alpha$  particles: dashed curves are for well oxygenated cells, solid curves for hypoxic cells.

$$OER = \frac{\text{Dose to produce a given effect without oxygen}}{\text{Dose to produce the same effect with oxygen}}$$



### Radioterapia – distribuição da dose absorvida – curvas de isodose

Raios X e  $\gamma$

18 MV, 4 MV, Co-60

### Radiobiologia – o que está por vir?

Efeito bystander  
 Genética – radio-sensibilidade tumor / paciente  
 Químico e radio simultâneos  
 Drogas para separar as curvas TCP e NTCP

### O Papel dos Físicos em Radioterapia

- Planejamento individualizado do tratamento, de acordo com prescrição
- Controle de qualidade de equipamentos
- Verificação dosimétrica – aceitação e rotineira
- Proteção Radiológica
- Treinamento de pessoal
- Venda técnica
- Desenvolvimento de software

### Evolução Técnica da Tele-Radioterapia

Objetivo: aumentar a dose no tumor e minimizar volume e dose de tecidos sadios irradiados.

Planejamento:  
 2D  
 3D  
 Conformado  
 Monte Carlo individualizado

Mudança de Parâmetros:  
 Planejamento Inverso  
 IMRT  
 Histogramas dose

Tecnologia de irradiadores:  
 Localização estereotáxica  
 Controle colimação / localização  
 IGRT

Localização/definição do CTV:  
 Uso de imagens de várias modalidades pelo SP

Uso de Partículas Carregadas Pesadas:  
 Prótons e carbono ~centenas de MeV

## Uso de Partículas Carregadas Pesadas



 INSTITUTO DE FÍSICA DE USP  
 GRUPO DE INVESTIGAÇÃO EM RADIAÇÕES FÍSICA MÉDICA  
 RPPM - Instituto de Física de USP

Figure 1 from Creating a spread-out Bragg peak in proton beams  
 David Jette and Weimin Chen 2011 Phys. Med. Biol. 56 N131 doi:10.1088/0031-9155/56/11/N01

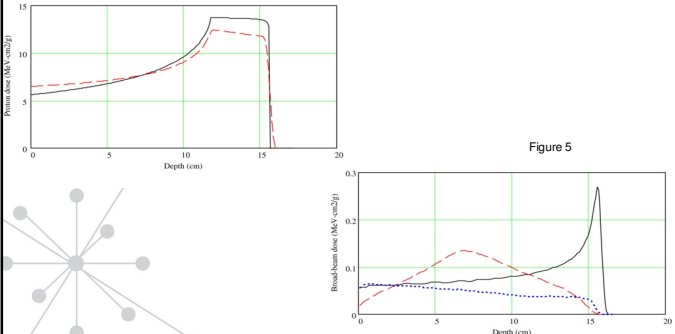


Figure 5

## Uso de Partículas Carregadas Pesadas


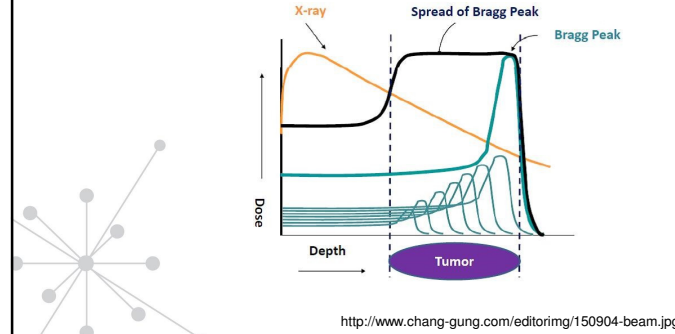


 INSTITUTO DE FÍSICA DE USP  
 GRUPO DE INVESTIGAÇÃO EM RADIAÇÕES FÍSICA MÉDICA  
 RPPM - Instituto de Física de USP

Figure 1: comparisons of the physical characteristics between proton beam and X-ray



<http://www.chang-gung.com/editorimg/150904-beam.jpg>

## Evolução Técnica da Braqui-Radioterapia


 INSTITUTO DE FÍSICA DE USP  
 GRUPO DE INVESTIGAÇÃO EM RADIAÇÕES FÍSICA MÉDICA  
 RPPM - Instituto de Física de USP

Objetivo: aumentar a dose no tumor e minimizar volume e dose de tecidos sadios irradiados.

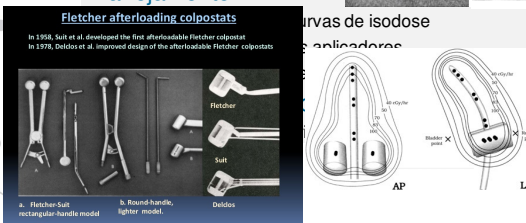
**Fontes:**

- Agulhas / tubos → fonte punt
- Manual / afterloading
- Baixa e média taxa → HDR
- Implantes permanentes
- Raios X miniatura (?)

**Planejamento:**

**Fletcher afterloading colpostats**

In 1958, Suit et al. developed the first afterloadable Fletcher colpostat. In 1978, Delclos et al. improved design of the afterloadable Fletcher colpostat.



a. Fletcher Suit rectangular-handle model  
 b. Round-handle, lighter model.  
 c. Delclos

## Exemplos de Técnicas Radioterapia


 INSTITUTO DE FÍSICA DE USP  
 GRUPO DE INVESTIGAÇÃO EM RADIAÇÕES FÍSICA MÉDICA  
 RPPM - Instituto de Física de USP

BRAQUITERAPIA DE MAMA <https://youtu.be/mZj6AMqXij>


Acelerador <https://youtu.be/DBBWWVCFDE>

IMRT <https://youtu.be/e2-5GyPTxLg>

Terapia em arco <https://youtu.be/3s756aw!8o>

### Braquiterapia com mini-emissor de RX

Bx Source	Advantages	Disadvantages
radionuclide	Well established therapeutic use Well established calibration procedures Fixed photon spectrum and half-life High specific activity, small size	Fixed dosimetry properties Radioactive waste concerns Regular source shipments due to decay
electronic	User-adjustable dose rate (on/off) User-adjustable dosimetric properties Lessened radiological exposure to staff	Unproven clinical application No NIST calibration protocol Output variability amongst sources Typically larger in size



[https://aapm.org/meetings/05SS/program/rivard\\_eBx\\_v4.pdf](https://aapm.org/meetings/05SS/program/rivard_eBx_v4.pdf)  
Mark J. Rivard, Larry A. DeWerd, and Heather D. Zinkin

### Braquiterapia com mini-emissor de RX

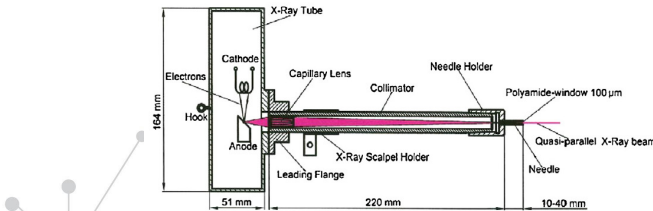


Figure 2. A schematic diagram of the x-ray scalpel.

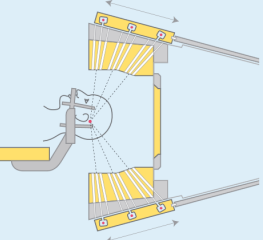
### RadioCirurgia com Fontes Radioativas

**Gamma Knife surgery – preferred for a reason**

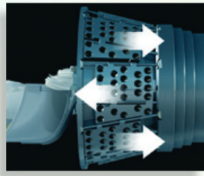
With very few exceptions, Gamma Knife surgery is given on a single occasion and without general anesthesia. After Gamma Knife surgery the patient normally leaves the hospital on the same day or the day after, making it a very cost effective alternative to open surgery.

During the procedure, some 200 radiation beams from cobalt-60 sources converge with high accuracy on the target. Each individual beam has low intensity and therefore does not affect the tissue through which it passes on its way to the target. The beams converge in an isocenter where the cumulative radiation intensity becomes extremely high.

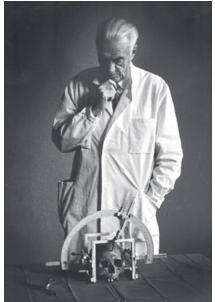
By moving the patient's head in relation to the beams' isocenter, the radiation dose can be optimized in relation to the shape and size of the target. The extreme precision of Leksell Gamma Knife, better than 0.5mm, makes it possible to administer a high radiation dose to the lesion with minimal risk of damaging healthy tissue.



### RadioCirurgia com Fontes Radioativas



The collimator system consists of 192 cobalt 60 sources, divided into 8 sectors that can be individually positioned to any of 4 states: 4 mm, 8 mm, 16 mm or off. During treatment, these sources are positioned via the sector mechanism to generate the desired radiation beam, and enable treatment of highly complex structures.



Lars Gustaf Fritiof Leksell (1907-1986)  
Considerado o inventor da radiocirurgia





GRUPO DE  
**DOSIMETRIA  
DAS RADIAÇÕES**  
e FÍSICA MÉDICA

IFUSP - Instituto de Física da USP

**Obrigada!**

Elisabeth M. Yoshimura  
e.yoshimura@if.usp.br