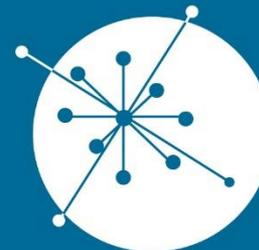
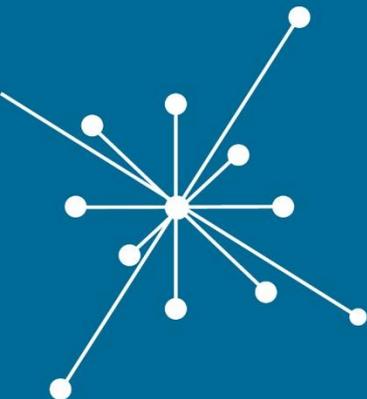


Física das Radiações 1

Aula 1 – Radiação

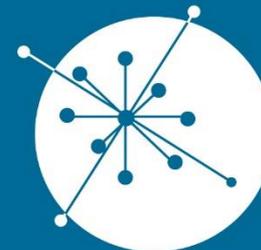
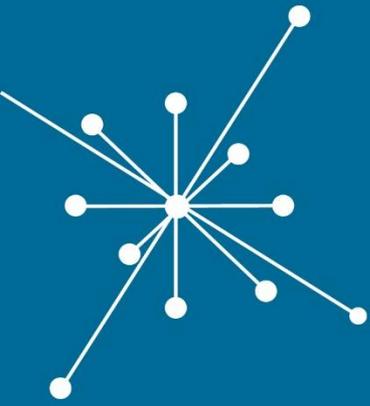
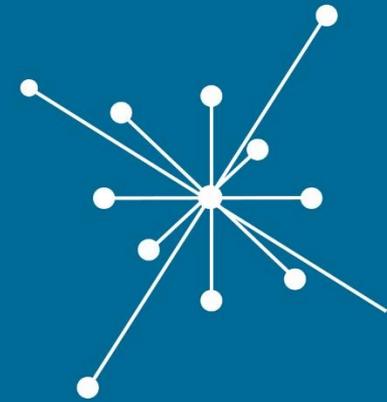
Paulo R. Costa



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

IFUSP - Instituto de Física da USP

O que é radiação?



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

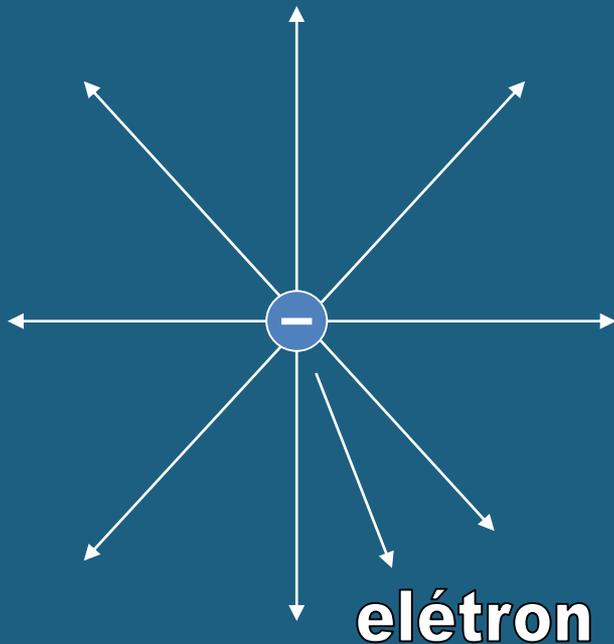
IFUSP - Instituto de Física da USP

O que é radiação?

- Radiação
 - Energia transportada de um lugar a outro no espaço
 - Exemplos
 - Vibrações mecânicas
 - Ondas eletromagnéticas
 - Rádio, microondas, luz visível, raios X, etc
 - Comprimento de onda (λ), frequência (ν) e energia (E)
 - Partícula ou radiação corpuscular

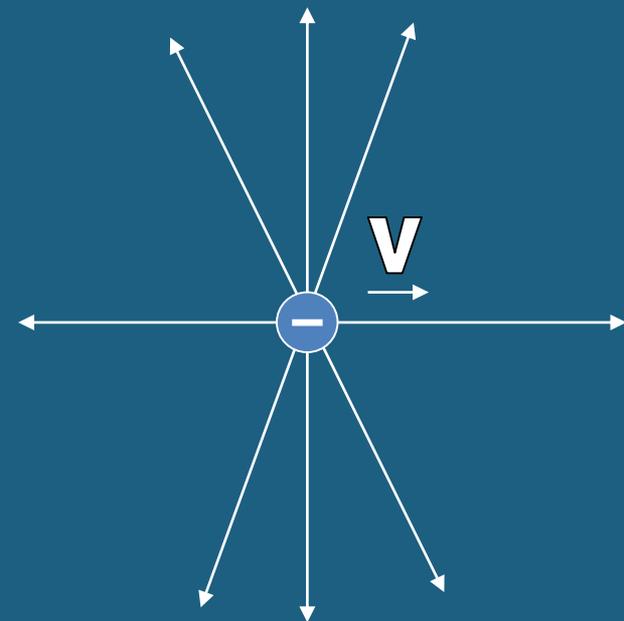


Radiação eletromagnética



Da teoria eletromagnética

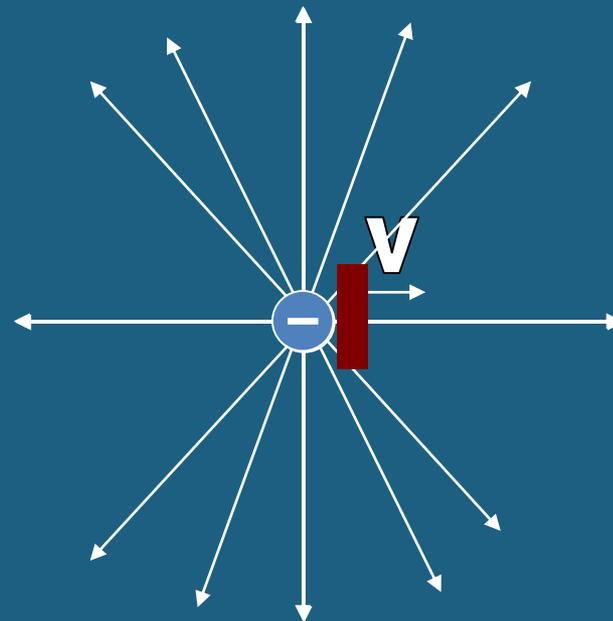
- carga elétrica \leftrightarrow campo elétrico
- linhas de campo contínuas
- preenchem todo o espaço

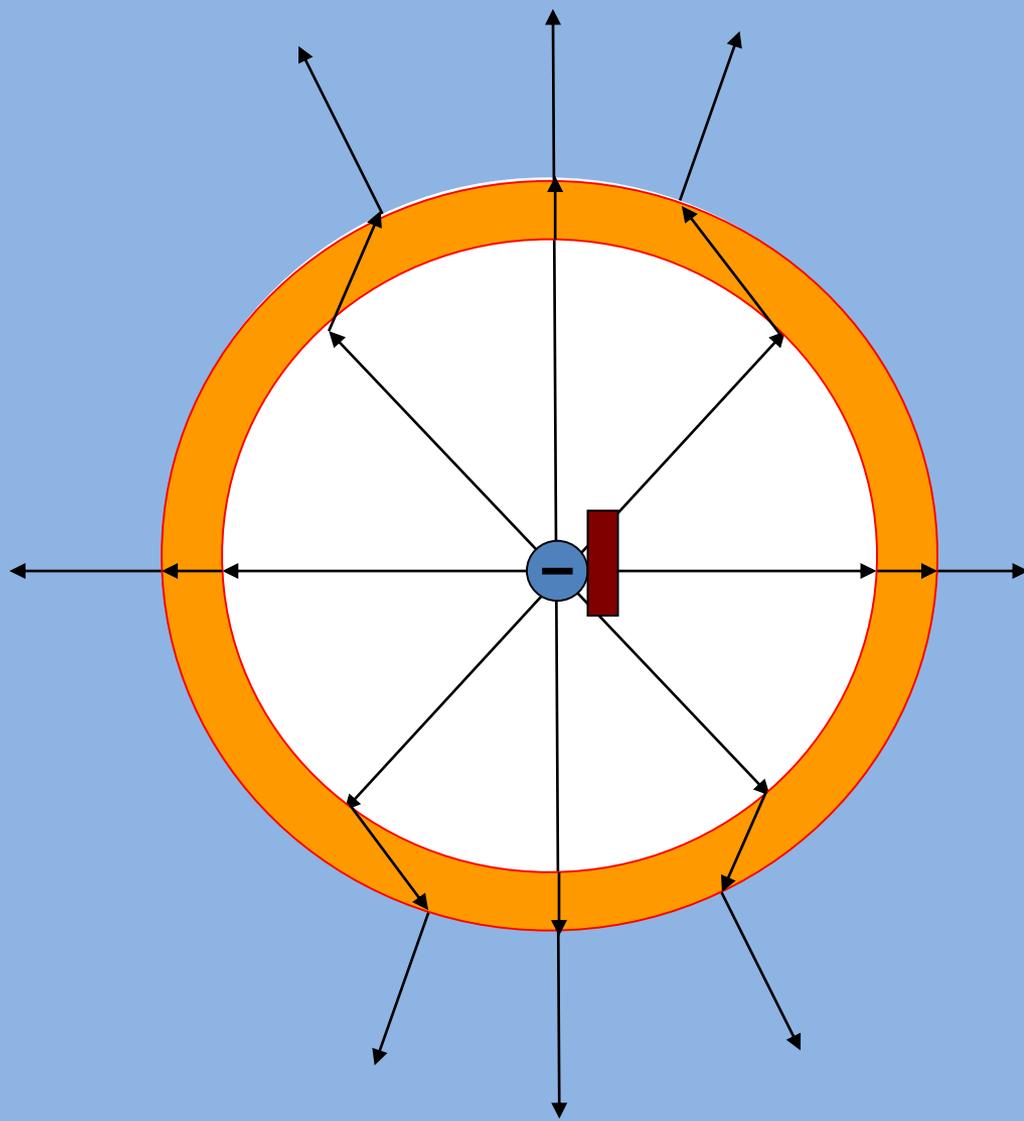


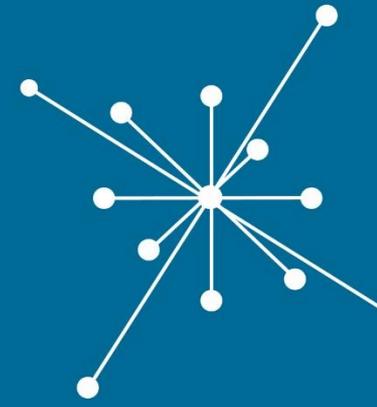
Da teoria da relatividade

- contração do espaço
- linhas de campo tb se contraem
- velocidade máxima da informação = c

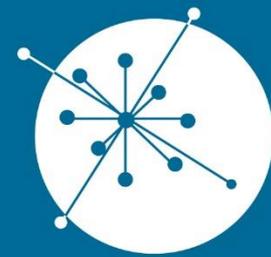
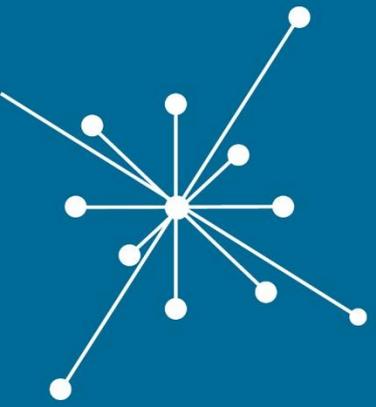
Radiação eletromagnética







A RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA E O CORPO HUMANO



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

IFUSP - Instituto de Física da USP

Dependências

Radiação
incidente



Reflexão na interface pele-ar

Transmissão

Intensidade



Quantidade de energia propagada
por unidade de área e tempo

Unidade: W/m^2

Coeficientes de
Transmissão e
Reflexão



Muito dependentes da
frequência da onda...

... e do meio que a absorve

O espectro eletromagnético

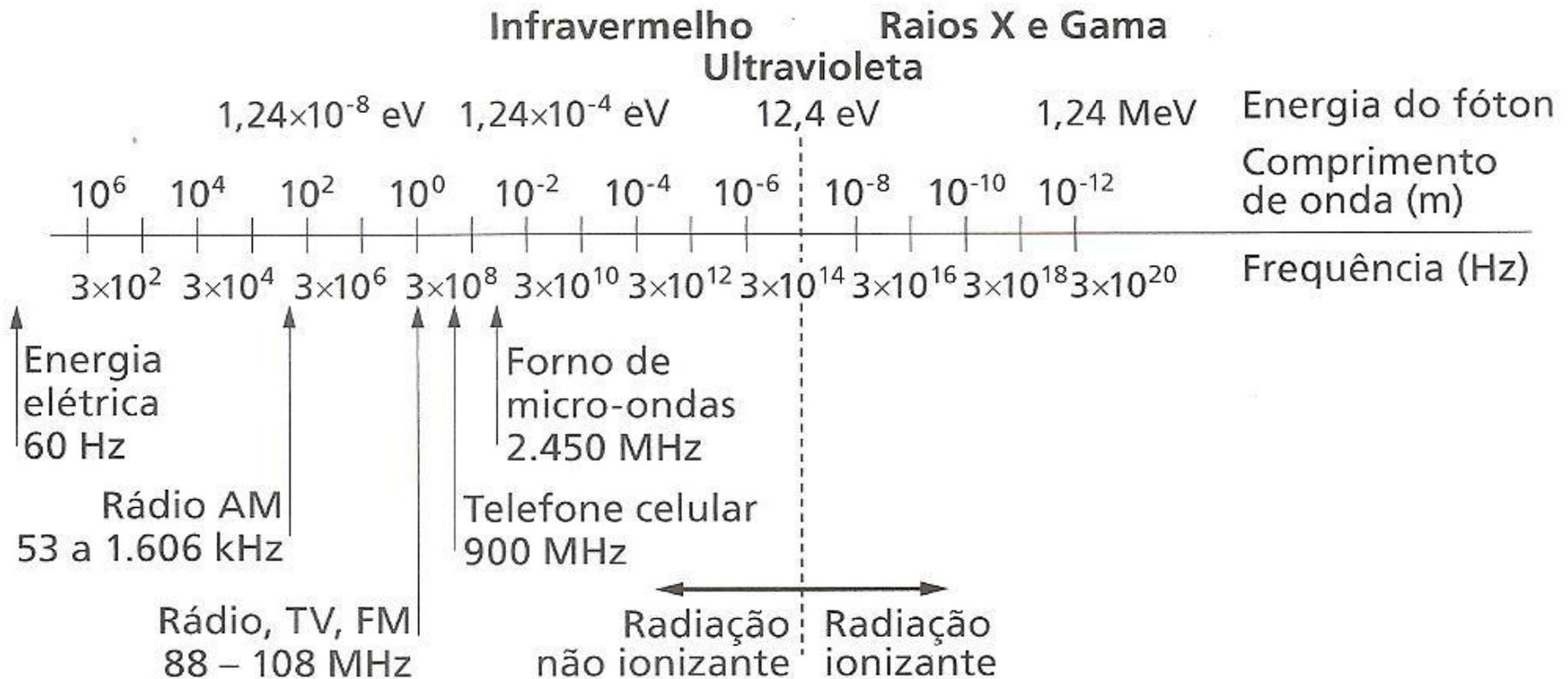
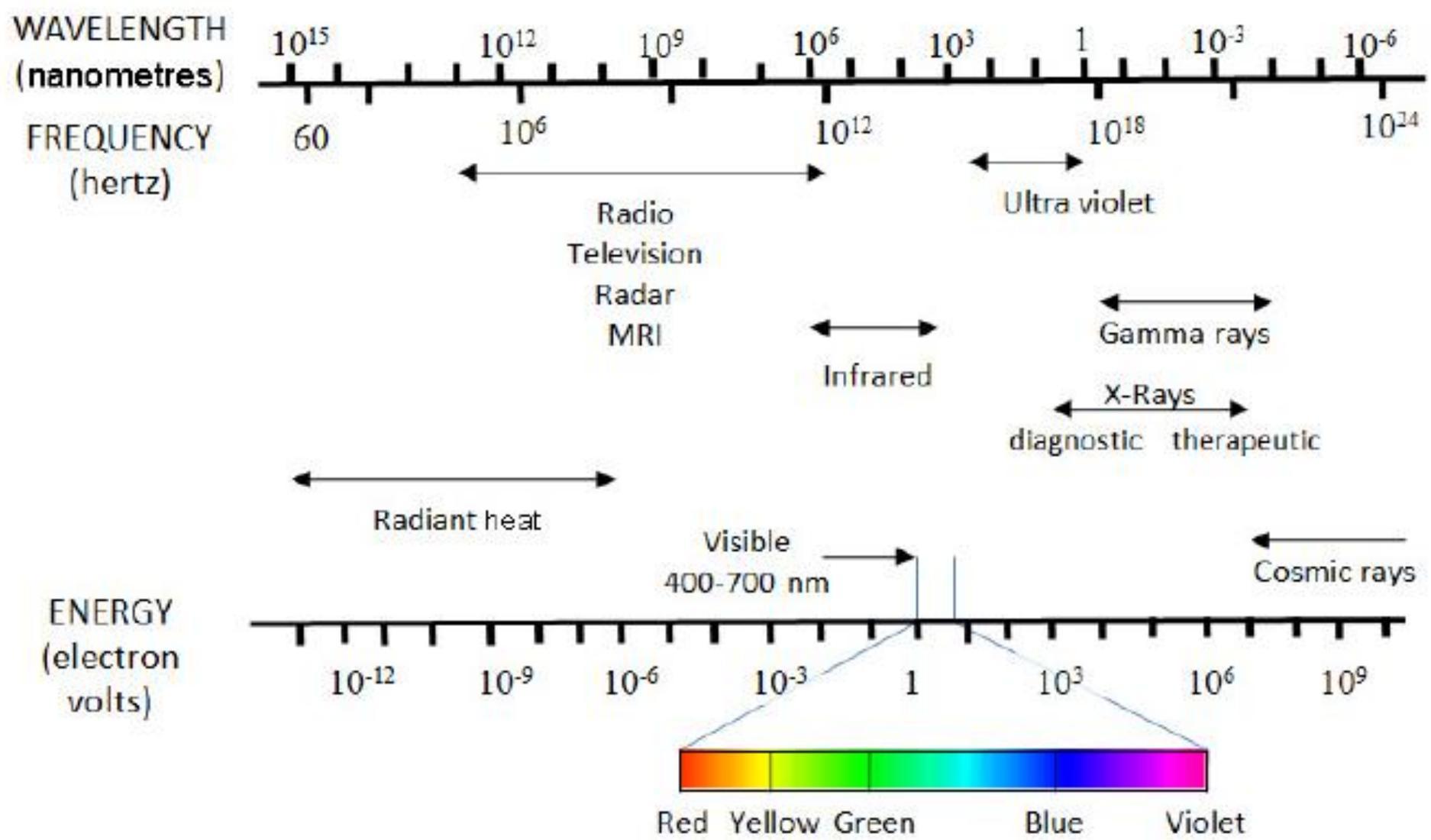


Fig. 1.1 Espectro da radiação eletromagnética

Fonte: Okuno;Yoshimura: Física das Radiações, 2010



Fonte: Dance, D. R. et al - Diagnostic Radiology Physics_ A Handbook for Teachers and Students

Energia e intensidade

Energia $\rightarrow E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$

$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s} \cong 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$ sendo $1\text{eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$

Intensidade $\rightarrow I = \frac{E}{A.t} = \frac{N.h.\nu}{A.t}$

sendo N = número de fótons



Tab. 1.1 SEPARAÇÃO DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO EM FAIXAS

Radiação eletromagnética	Frequência	Comprimento de onda	Energia do fóton (eV)
raios X e gama	> 3 PHz	< 100 nm	> 12
Ultravioleta UVC	3 PHz – 1,07 PHz	100 nm – 280 nm	12,42 – 4,42
UVB	1,07 PHz – 0,952 PHz	280 nm – 315 nm	4,42 – 3,94
UVA	0,952 PHz – 0,75 PHz	315 nm – 400 nm	3,94 – 3,10
luz visível	0,75 PHz – 0,428 PHz	400 nm – 700 nm	3,10 – 1,77
Infravermelha IVA	385 THz – 214 THz	780 nm – 1,4 μ m	1,59 – 0,88
IVB	214 THz – 100 THz	1,4 μ m – 3,0 μ m	0,88 – 0,414
IVC	100 THz – 300 GHz	3,0 μ m – 1,0 mm	0,414 – $1,24 \times 10^{-3}$
radiofrequência	300 GHz – 10 kHz	1 mm – 30 km	muito pequena
micro-onda	300 GHz – 300 MHz	1 mm – 1 m	
frequência extremamente baixa	300 Hz – 0 Hz	10^6 m – $\rightarrow \infty$	extremamente pequena

k (quilo) = 10^3 ; M (mega) = 10^6 ; G (giga) = 10^9 ; T (tera) = 10^{12} ; P (peta) = 10^{15}

Pergunta

Quanto maior a
energia da onda EM
maior sua penetração

→ ~~CERTO~~ ???

Vidro

Transparente: visível, rádio, **micro-ondas**

Opaco: UV, **IV**

absorção

absorção

água

Transmissão e profundidade de penetração

Transmissão $\longrightarrow I(x) = I(0)e^{-\mu x}$

Profundidade de penetração \longrightarrow Redução de $1/e$ (36,8%)
ou seja, absorção de 63,2 %

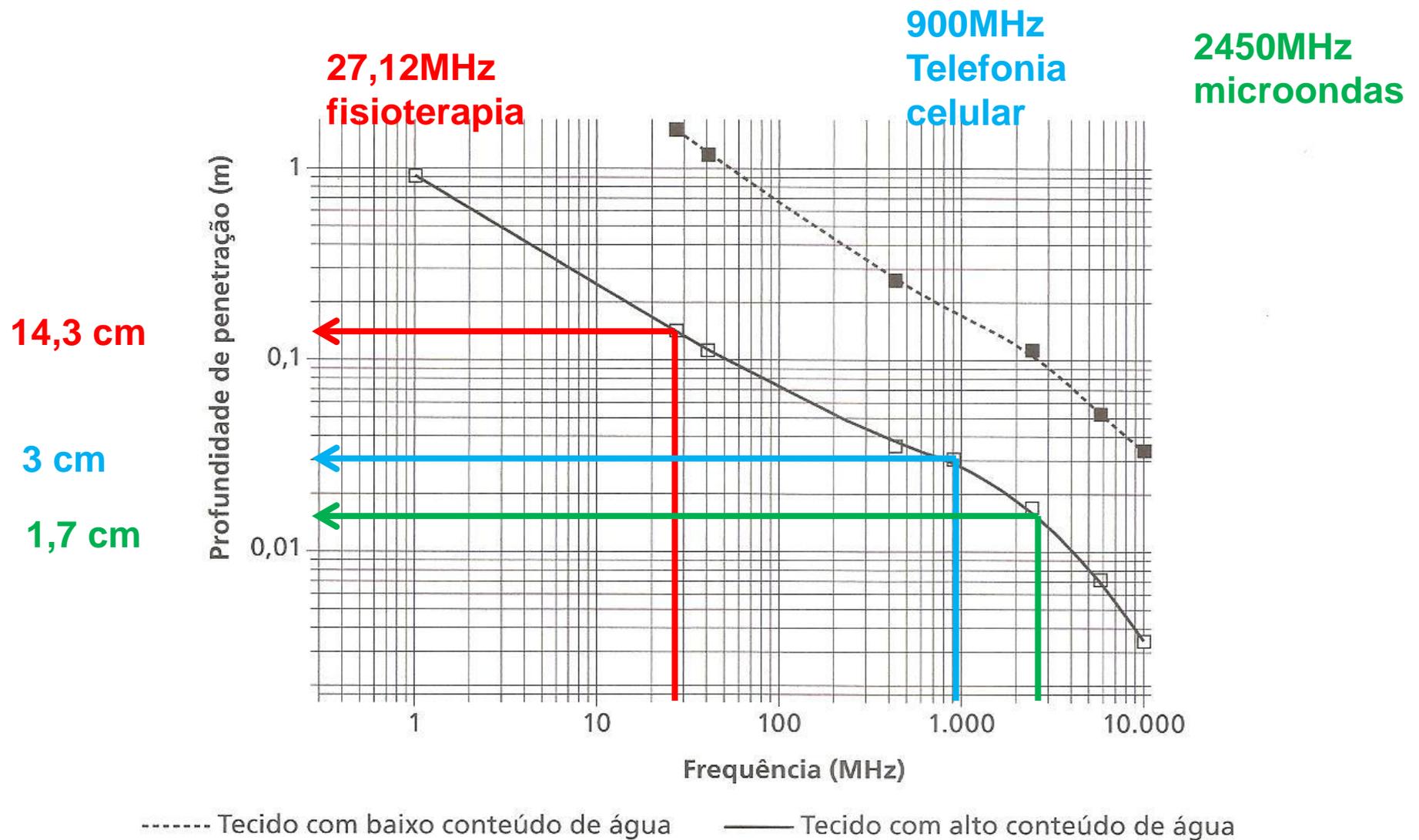


Fig. 1.2 Profundidade de penetração da radiação eletromagnética em tecido com alto e baixo conteúdo de água em função da frequência da onda de 1 a 10^4 MHz

Transmissão e profundidade de penetração

Para radiação IV e visível...

... e UV

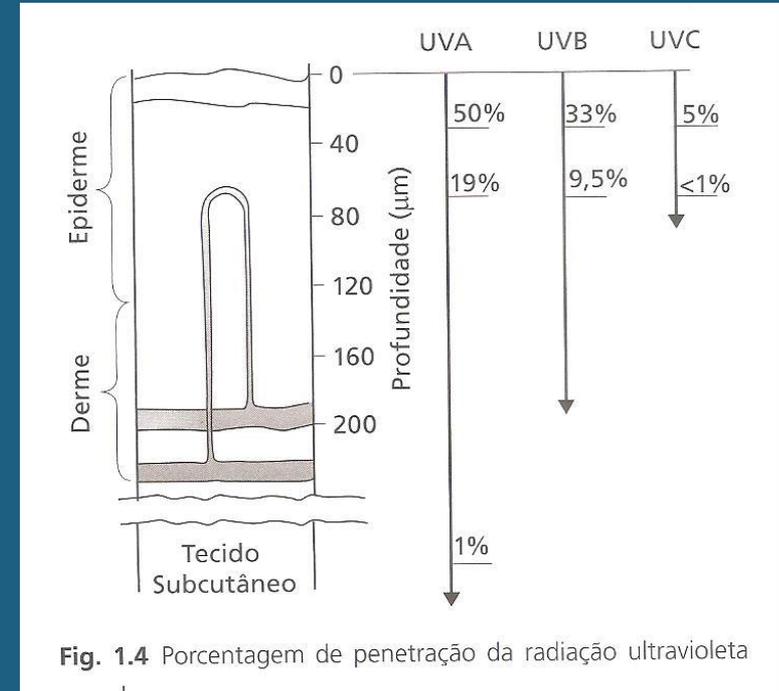
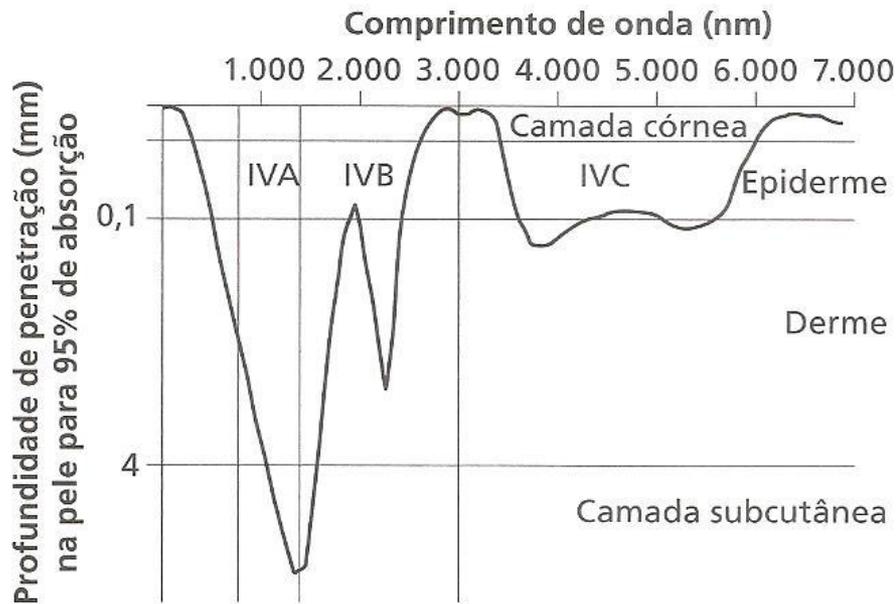
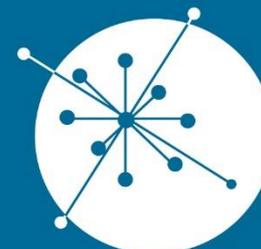
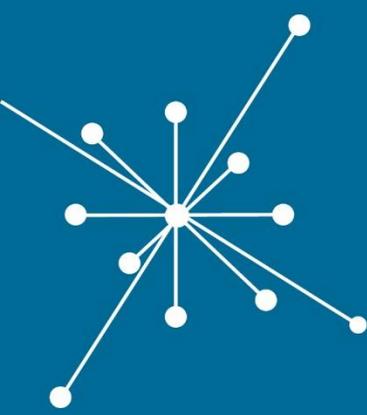
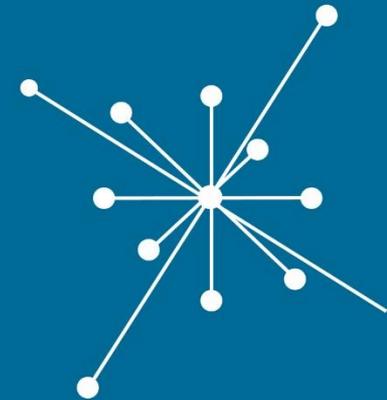


Fig. 1.4 Porcentagem de penetração da radiação ultravioleta na pele.

Fonte: Okuno; Yoshimura: Física das Radiações, 2010

RAIOS X E GAMA ($E > 12\text{eV}$) → PENETRAÇÃO GRANDE

ÁTOMOS, MOLÉCULAS E IONS



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

IFUSP - Instituto de Física da USP

Fontes de radiação

- Radiação ionizante
 - Capacidade de geração de ions
 - Remoção de elétrons de átomos ou moléculas
 - Formação de íons moleculares ou radicais
 - Mais reativos que átomos ou moléculas neutros
 - Efeitos biológicos
- Energia transferida aos elétrons
 - Dose
 - (lembrem que só vamos tratar de radiações **ionizantes**)

Radiações ionizantes



IFUSP - Instituto de Física da USP

- Radiações ionizantes
 - Energias de ionização
 - Energia necessária para remover um elétron de um átomo ($13,6\text{eV}$ no caso do H)
 - Sinônimo: energia de ligação para átomos com mais de 3 elétrons
 - Energia necessária para arrancar o elétron mais externo (mais fracamente ligado)

Radiações ionizantes

Partículas carregadas

Diretamente ionizantes

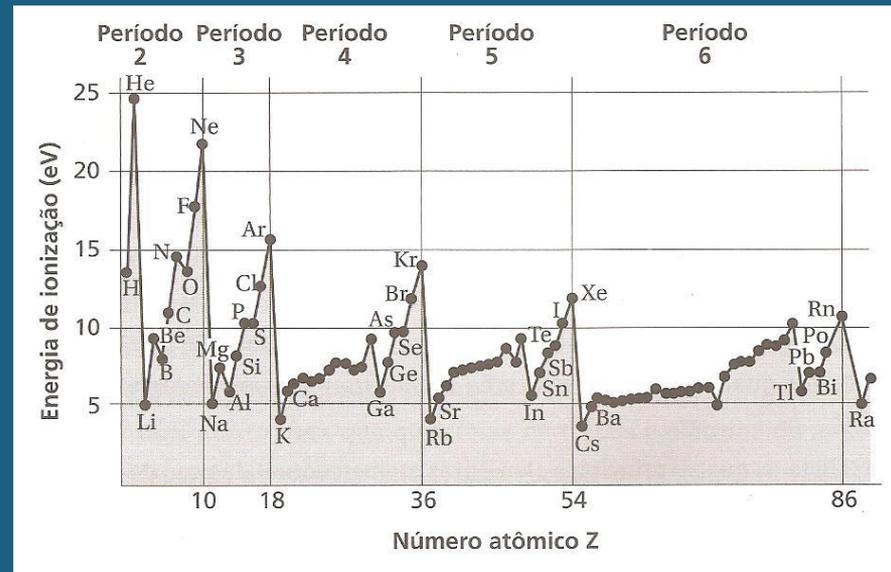
Radiações

Indiretamente ionizantes

Fótons e nêutrons



- Elementos alcalinos (Li, Na, K, Rb e Cs)
 - 1 elétron na última camada → ionização mais fácil
 - Blindagem do campo do núcleo
- Gases nobres
 - Camadas completas → maior energia de ionização
- Varia de átomo para átomo
 - He = 24,6 eV (a maior)
 - Cs = 3,9 eV (a menor)



- Mais internos – \sim keV de energia
- Mais externos - \sim eV de energia

Tab. 1.2 ENERGIA DE LIGAÇÃO DE UM ELÉTRON (1s) DA CAMADA K, DE UM ELÉTRON (2s) DA CAMADA L E DE IONIZAÇÃO DE UM ELÉTRON DA CAMADA DE VALÊNCIA DE ALGUNS ELEMENTOS QUÍMICOS

Elemento químico	Número atômico Z	Energia de ligação B_K (keV)	Energia de ligação B_L (keV)	Energia de ionização W_V (eV)
C	6	0,29	0,016	11,3
Al	13	1,56	0,12	6,0
Cu	29	8,99	1,10	7,7
Mo	42	20,0	2,87	7,1
Rh	45	23,2	3,42	7,4
Ag	47	25,5	3,81	7,6
W	74	69,5	12,1	7,9
Pb	82	88,0	15,9	7,4

Fonte: Okuno;Yoshimura: Física das Radiações, 2010

Que energias de radiação consideramos ionizantes?

– UV (100nm a 400nm)

- Limite entre radiações ionizantes e não ionizantes
- Considerada não-ionizante em radiobiologia
 - Pouca penetração na pele
- UV proveniente do Sol e que atinge a superfície da Terra
 - UVA e UVB $\rightarrow 4,42 \text{ eV} \leq E \leq 3,10 \text{ eV}$ (não-ionizantes)

– Por convenção

- $> 10 \text{ eV}$ para radiobiologia
- $> 12,42 \text{ eV}$ (limite da UVC)

CONSTITUINTES DO CORPO HUMANO

Elemento químico	% de peso do corpo humano	Energia de ionização (eV)
H	10,5	13,6
O	67,7	13,6
C	18,7	11,3
N	3,1	14,5

Energia média
para formar um
par de íons

Num gás

$$W = \frac{K}{N}$$

Energia cinética
inicial da
partícula
carregada

Número
médio de
pares de
íons formados

Processo estatístico
Número MÉDIO

Para W e N

Em gases moleculares
(H_2, N_2, O_2, CO_2)

$\sim 2/5$ de $K \rightarrow$ ionização

$\sim 3/5$ de $K \rightarrow$ excit. e aquecim.

$$\therefore W > W_v$$

- Composição do gás
- Tipo e Energia da partícula

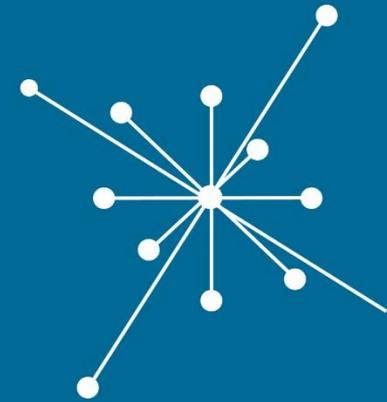
Partículas carregadas
Em gases nobres

- $3/5$ de $K \rightarrow$ ionização
- $1/5$ de $K \rightarrow$ excitação
- $1/5$ de $K \rightarrow$ aquecimento

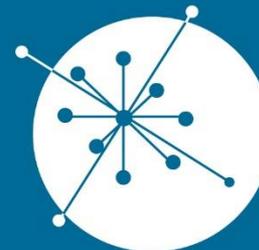
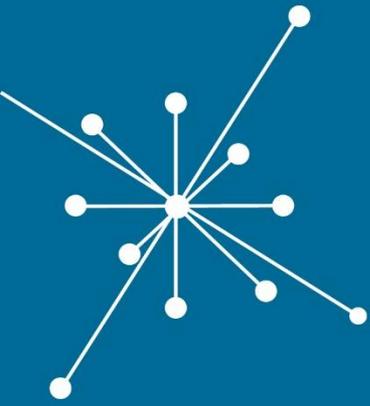
ESTRUTURA ATÔMICA

MODELOS ATÔMICOS

MODELO DE BOHR



Estudos independentes



GRUPO DE
DOSIMETRIA
DAS RADIAÇÕES
e FÍSICA MÉDICA

IFUSP - Instituto de Física da USP

Mensagem da CG

Caros Alunos,

Devido a um erro no momento do cadastramento da turma de Física das Radiações I, ficaram faltando duas horas, uma vez que a disciplina é de 6 créditos. Após a consulta feita aos alunos pelo prof. Paulo Costa, a disciplina terá 2 horas de acréscimo na segunda feira. Desta forma a referida disciplina terá o seguinte horário:

2a feira das 19 as 23 horas e 6a feira das 21 as 23 horas.

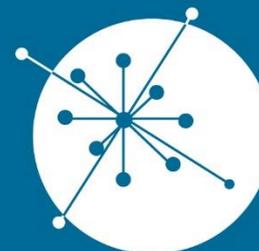
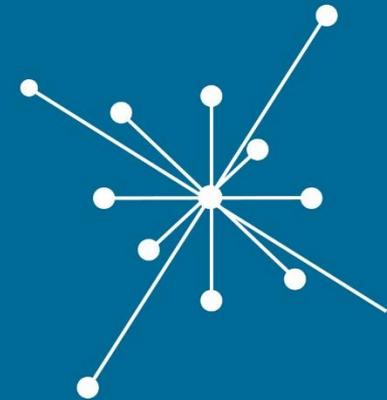
Para isso, houve também a mudança de sala, que a partir de amanhã (10/03) será na **sala 211 da Ala Central.**

Lamentamos muito o ocorrido e os possíveis transtornos que tenha causado. O período de requerimento vai até amanhã, caso algum aluno queira substituir essa disciplina.

Atenciosamente,

Sandraly Machado
Comissão de Graduação

Existe RADIAÇÃO nesta sala ?



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

IFUSP - Instituto de Física da USP

Radiação com a qual convivemos

Radiação natural: Raios cósmicos, radiação dos elementos no corpo humano, alimentos, água, habitações, material de construção, etc.

Corpo humano: K-40, Ra-226, Ra-228

exemplo: homem com 70 kg → 140 g de K

$140 \times 0,012\% = 0,0168 \text{ g de K-40}$

0,1 μCi de K-40

≈ 28,000 de fótons emitidos/min

($T_{1/2}$ do K-40 = 1,3 bilhões de anos)

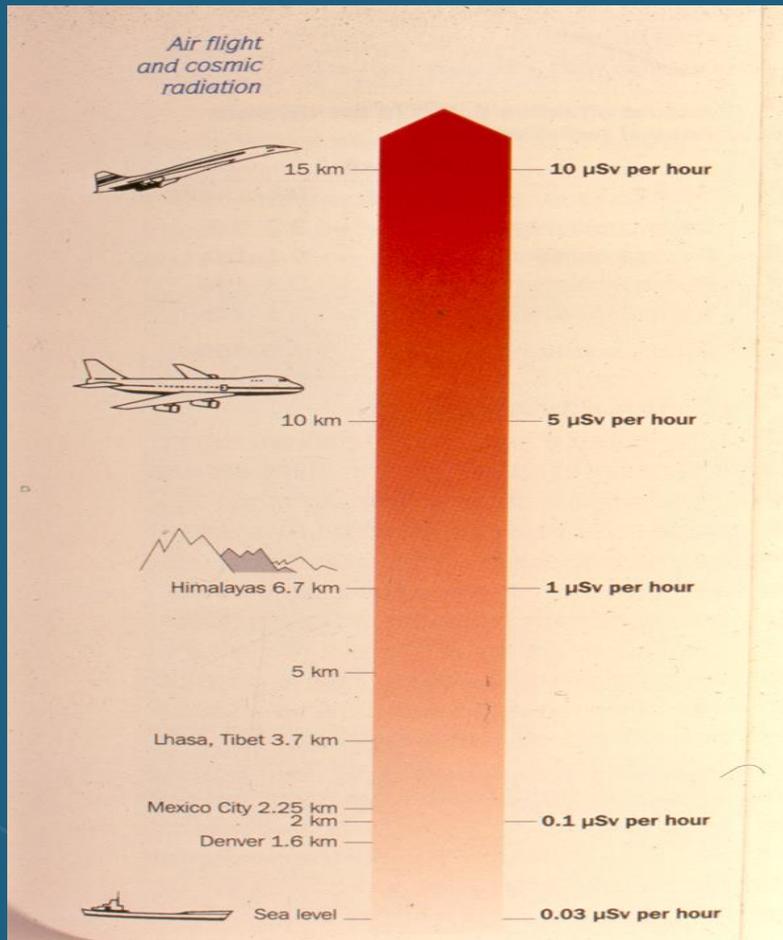
Radiação com a qual convivemos

Alimento	Níveis radioativos (Bq/kg)				
	Ingestão diária (g/d)	Ra-226	Th-228	Pb-210	K-40
Arroz	150	0,126	0,267	0,133	62,4
Trigo	270	0,296	0,270	0,133	142,2
Legumes	60	0,233	0,093	0,115	397,0
Outros vegetais	70	0,126	0,167	--	135,2
Vegetais em folhas	15	0,267	0,326	--	89,1
Leite	90	--	--	--	38,1
Dieta composta	1370	0,067	0,089	0,063	65,0

Dose = 0,315 mSv/yr

Dose total de fontes naturais = 1,0 to 3,0 mSv/yr

Doses em voos comerciais



Fonte: Benini, A. – IAEA - Introduction to Radiation Protection in Diagnostic Radiology

Travel Medicine and Infectious Disease (2008) 6, 125–127



ELSEVIER

Available at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

journal homepage: www.elsevierhealth.com/journals/tmid

REVIEW

Cosmic radiation in commercial aviation

Michael Bagshaw*

Aviation Medicine, King's College London, London SE1 1UL, UK

Concorde: 12–15 $\mu\text{Sv}/\text{h}$
Long-haul: 4–6 $\mu\text{Sv}/\text{h}$
Short-haul: 1–3 $\mu\text{Sv}/\text{h}$

Dose efetiva média anual
Considerando tempos de vôo máximos

Long-haul: 2–4 mSv ($< 1/5$ ICRP recommended dose limit)
Short-haul: 1–2 mSv ($< 1/10$ ICRP recommended dose limit)

Radiação de fontes naturais

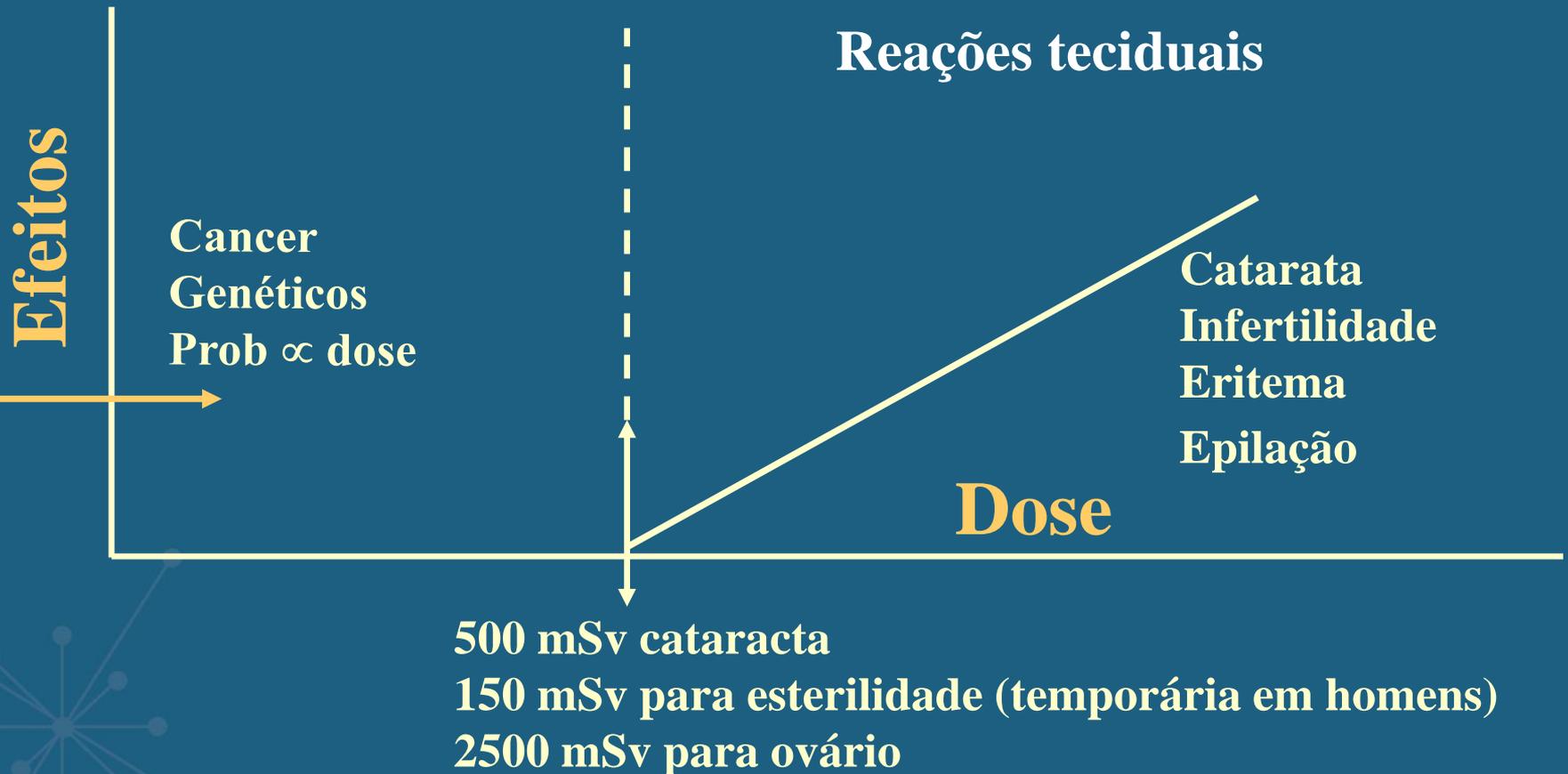


IFUSP - Instituto de Física da USP

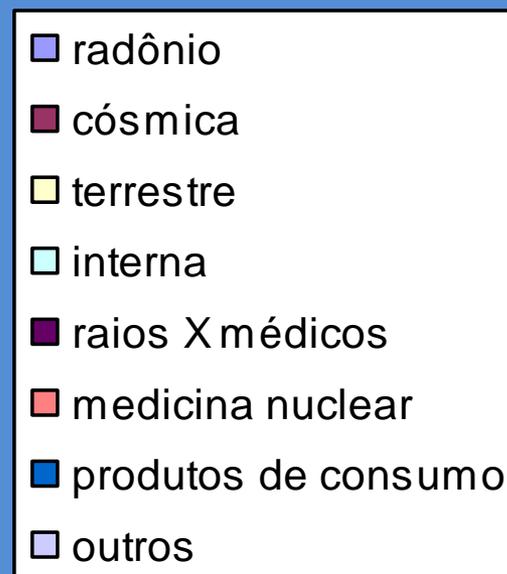
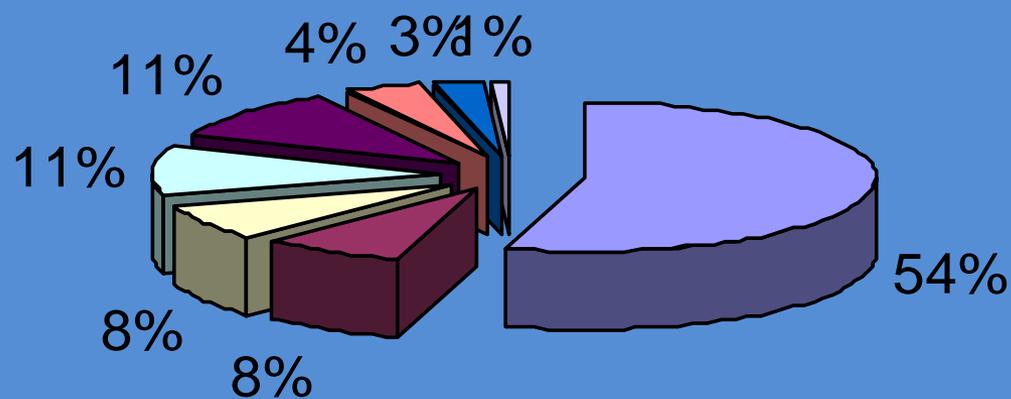
- Normalmente: 1-3 mSv/ano
- Em áreas de alta radiação de fundo (BG): 3-13 mSv/ano



Relações dose-efeitos

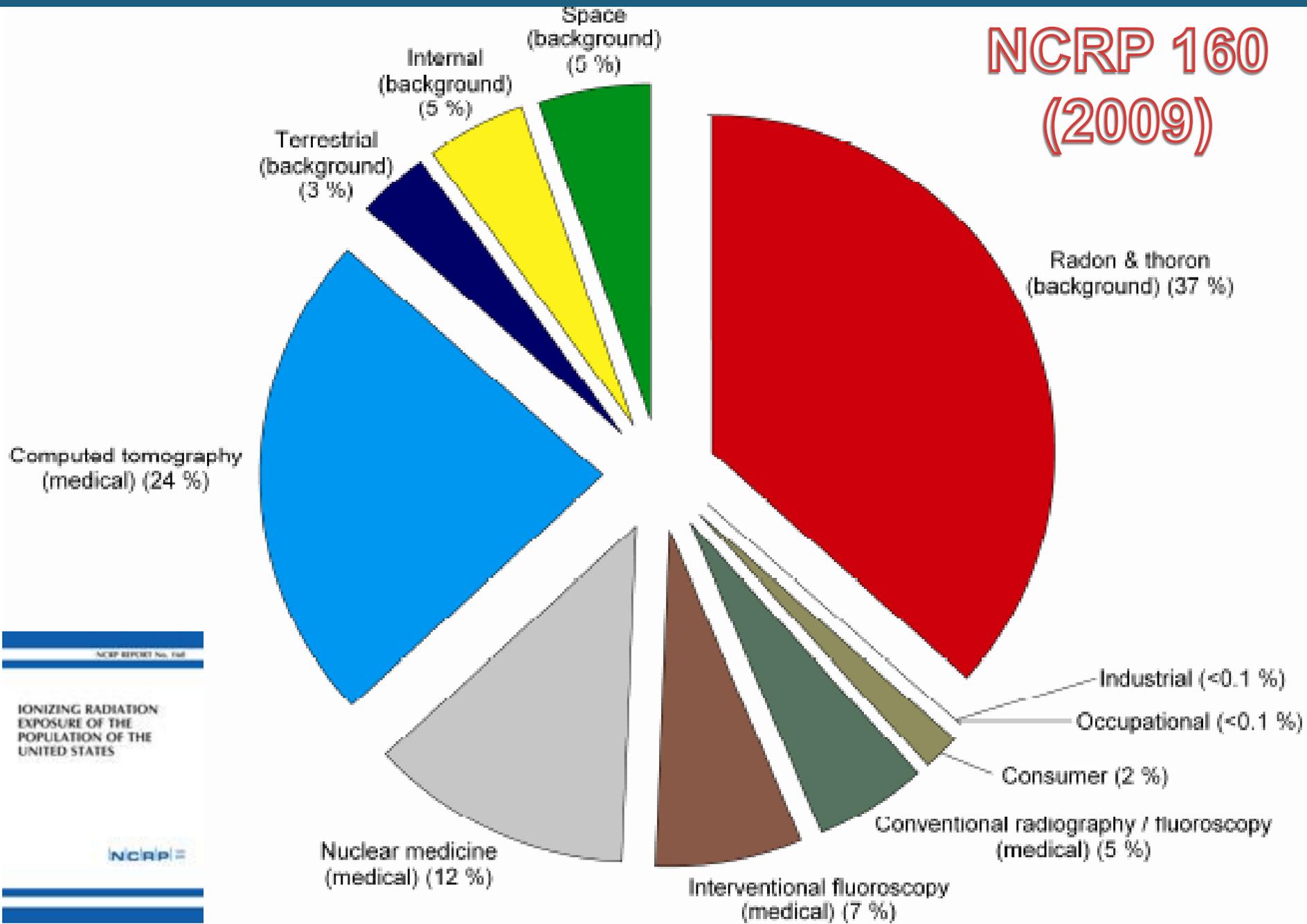


Fontes de radiação



Dados do NCRP 93 (1987) para os EUA

NCRP 160 (2009)



Radiação

Vivemos com
1-3 mSv

Podemos
morrer com
4000 mSv

Onde parar? Qual o valor seguro?
Quais os efeitos da radiação?



O que a radiação pode causar?

Morte

Câncer

Queimaduras

Catarata



Infertilidade

Efeitos geneticamente
transmissíveis





[322] Most of the early radiation injuries were to the hands of the pioneer physicians and technicians. The early signs of chronic X-ray dermatitis, described by Boer¹ as "wristed and shrunken flannel hands of physicians," is seen (top right) in the hands of the radiologist Miriam Kossman of Philadelphia, photographed in 1937 (bottom left). Kossman commenced work with X-rays in 1909 and died in 1910. Another early American X-ray martyr, Arthur Compton, a physician who used his own fingers to wear others' coats, John Hall Edwards of Birmingham who, in 1908, published radiographs of the poor damage of his unshielded left hand and right finger.

A later stage of progression is shown (center left) by the hands of a London Hospital technician photographed in 1901 (see center right). The same technician is also shown (center right) using his unshielded apparatus in 1903. His left hand is noted the X-ray tube which, if that was his usual practice, would account for the carcinoma of the dorsum seen on his left hand. The technician died in circumstances in 1904. A much later stage of X-ray damage is seen in the advanced carcinoma of the dorsum (bottom left) and loss of some fingers of a man aged 52 who had started work in the manufacture of X-ray apparatus when 22 years previously. A substantial progression from dermatitis to amputation above the wrist is illustrated in [321].



Objetivos da proteção radiológica

- PREVENÇÃO de reações teciduais
- LIMITAÇÃO da probabilidade de ocorrência de efeitos estocásticos

COMO? Até que ponto?

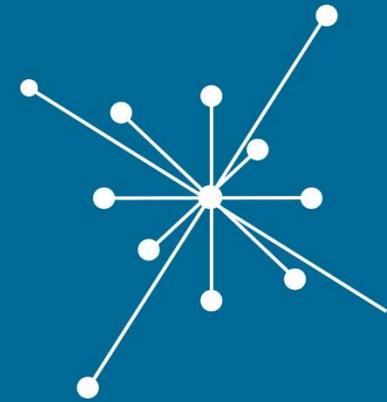
Princípio da otimização

Uso bélico da radiação ionizante

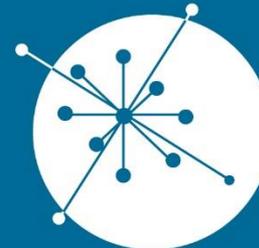
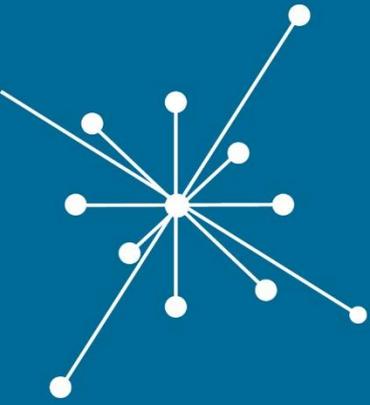


A grande preocupação da sociedade está dirigida para domínio da tecnologia nuclear, pois o avanço do conhecimento para fins pacíficos, também gera conhecimentos que podem levar à utilização da energia nuclear para fins de destruição.

E os benefícios ???



Quais as aplicações das radiações no mundo moderno?

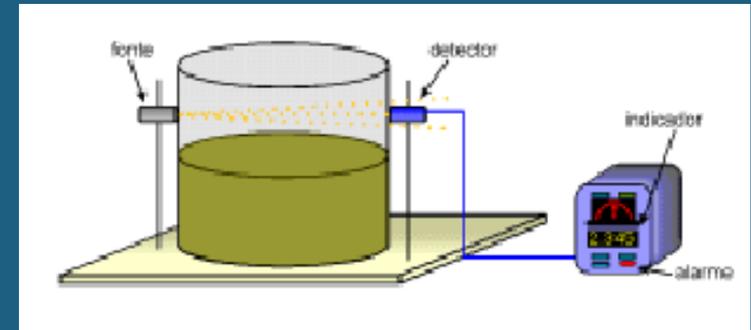


GRUPO DE
**DOSIMETRIA
DAS RADIAÇÕES**
e FÍSICA MÉDICA

IFUSP - Instituto de Física da USP

Uso pacífico da radiação ionizante

- Produção de energia
- Medicina
 - Diagnóstico e terapia
- Agricultura
 - Controle de pragas
 - Metabolismo de plantas
 - Conservação de alimentos
- Indústria
 - Radiografia e gamagrafia
 - Inspeção de níveis
 - Espectrômetros e difratrômetros
- Outras aplicações
 - Esterilização de materiais cirúrgicos
 - Inspeção de bagagens
 - Datação por C-14
 - Estudo de obras de arte



Podemos utilizar radiação ionizante?

O benefício que se obtém pelo uso da radiação ionizante deve exceder ao risco dos efeitos adversos.

