

Densitometria Óssea



GRUPO DE
DOSIMETRIA
DAS RADIAÇÕES
e FÍSICA MÉDICA

IFUSP - Instituto de Física da USP

Residente: Amanda Fernandes Nascimento

São Paulo, 15 de agosto de 2022.

Sumário

1

Introdução

2

Princípios físicos

3

DPA

4

DXA

5

Tipos de feixe

6

Regiões de interesse

7

Medidas quantitativas

8

Referências

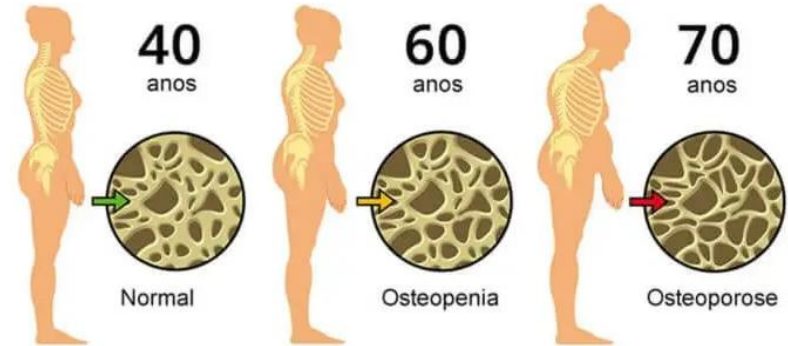
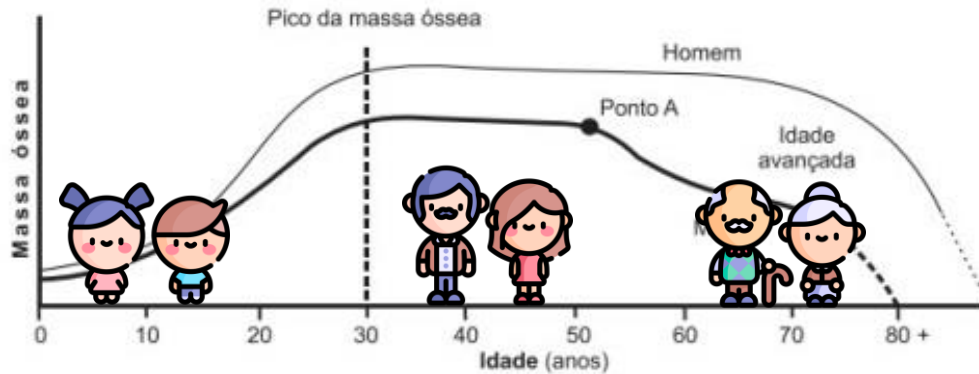
Densitometria Óssea

Objetivo

Determinar a densidade mineral óssea de uma ou mais regiões anatômicas



Osteopenia e osteoporose



Densitometria Óssea

Objetivo

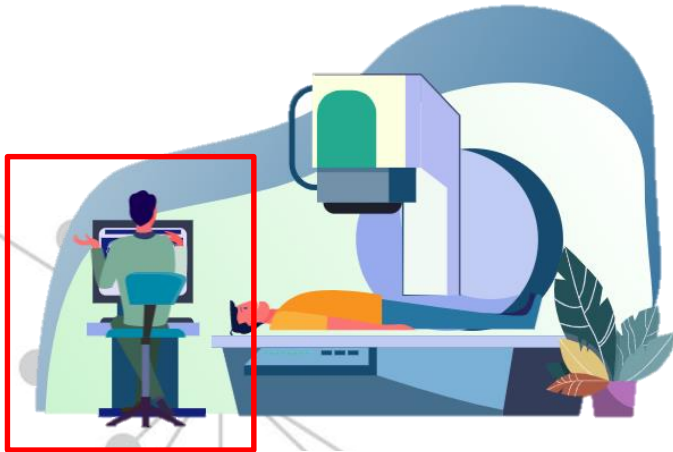
Determinar a densidade mineral óssea de uma ou mais regiões anatômicas



Osteopenia e osteoporose

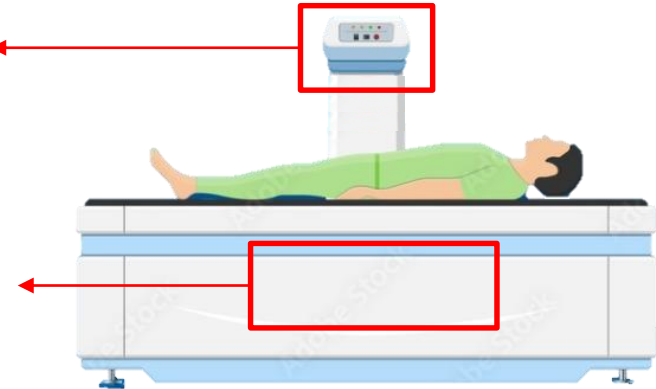
Como é feito?

Sistema de detecção



Comando

Tubo de raios X +
colimação



Densitometria Óssea

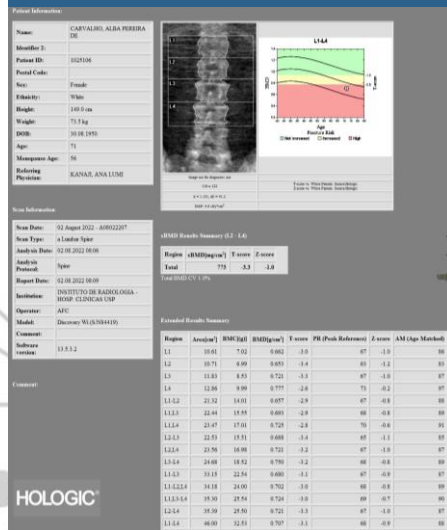
Objetivo

Determinar a densidade mineral óssea de uma ou mais regiões anatômicas



Osteopenia e osteoprose

Como é feito?



Princípios da DO

Atenuação de raios X

$$I = I_0 e^{-\mu x} = I_0 e^{-\left(\frac{\mu}{\rho}\right) \sigma}$$

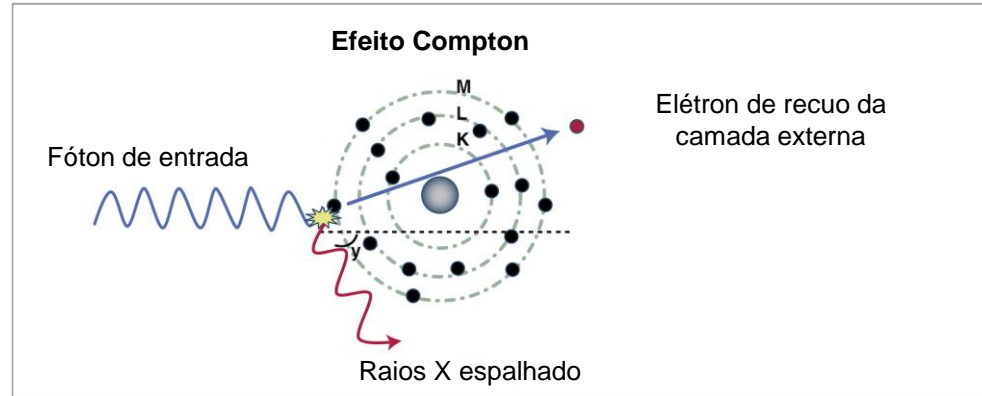
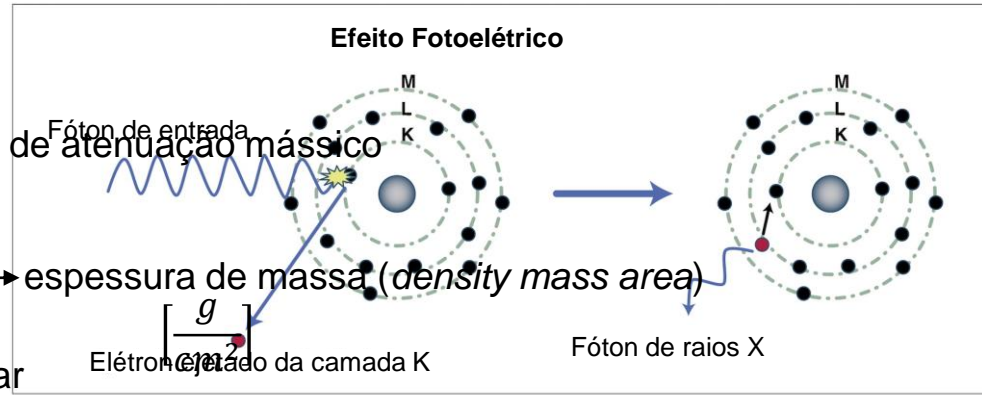
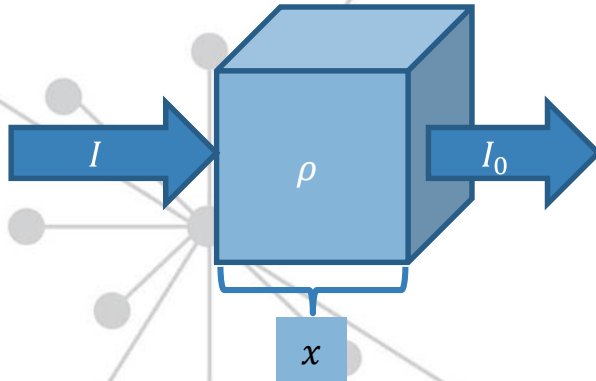
coef. de atenuação mássico

espessura

coef. de atenuação linear

espessura de massa (density mass area)

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{Total} = \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{Fotoelétrico} + \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{Compton} + \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{Coerente}$$

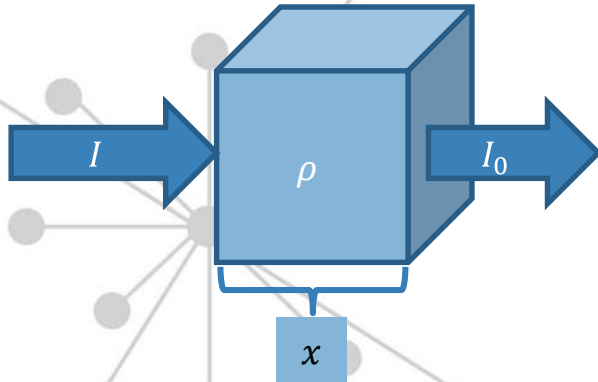


Princípios da DO

Atenuação de raios X

$$I = I_0 e^{-\mu x} = I_0 e^{-\left(\frac{\mu}{\rho}\right)\rho x}$$

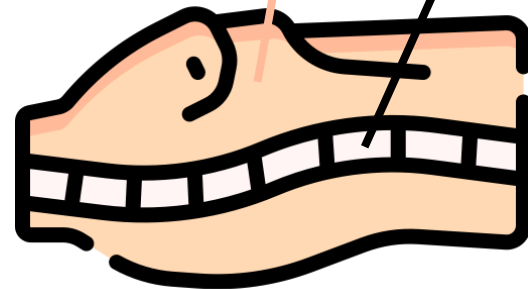
$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{Total} = \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{Fotoelétrico} + \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{Compton} + \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{Coerente}$$



Atenuação de raios X no paciente

$$I = I_0 e^{-\left[\sum \frac{\mu}{\rho}_i \sigma_i\right]}$$

$$I = I_0 e^{-\left[\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_m \sigma_m + \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_o \sigma_o\right]}$$



Princípios da DO

Como calcular o BMD?

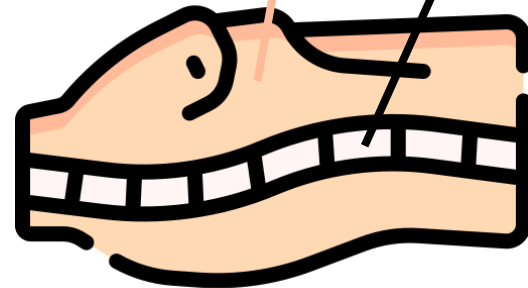
$$I = I_0 e^{-\left[\left(\frac{\mu}{\rho} \right)_m \sigma_m + \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_o \sigma_o \right]}$$

Dupla
energia

Atenuação de raios X no paciente

$$I = I_0 e^{-\left[\sum \frac{\mu}{\rho}_i \sigma_i \right]}$$

$$I = I_0 e^{-\left[\left(\frac{\mu}{\rho} \right)_m \sigma_m + \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_o \sigma_o \right]}$$



Princípios da DO

Como calcular o BMD?

$$I^B = I_0^B e^{-\left[\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_m \sigma_m + \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_o \sigma_o\right]^B}$$

$$I^A = I_0^A e^{-\left[\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_m \sigma_m + \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_o \sigma_o\right]^A}$$

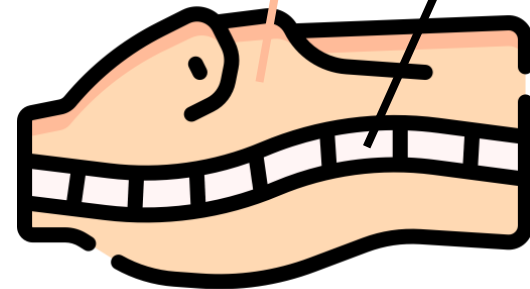
Dupla
energia



Atenuação de raios X no paciente

$$I = I_0 e^{-\left[\sum \frac{\mu}{\rho}_i \sigma_i\right]}$$

$$I = I_0 e^{-\left[\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_m \sigma_m + \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_o \sigma_o\right]}$$



Princípios da DO

Como calcular o BMD?

$$I^B = I_0^B e^{-\left[\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_m \sigma_m + \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_o \sigma_o\right]^B}$$

$$I^A = I_0^A e^{-\left[\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_m \sigma_m + \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_o \sigma_o\right]^A}$$

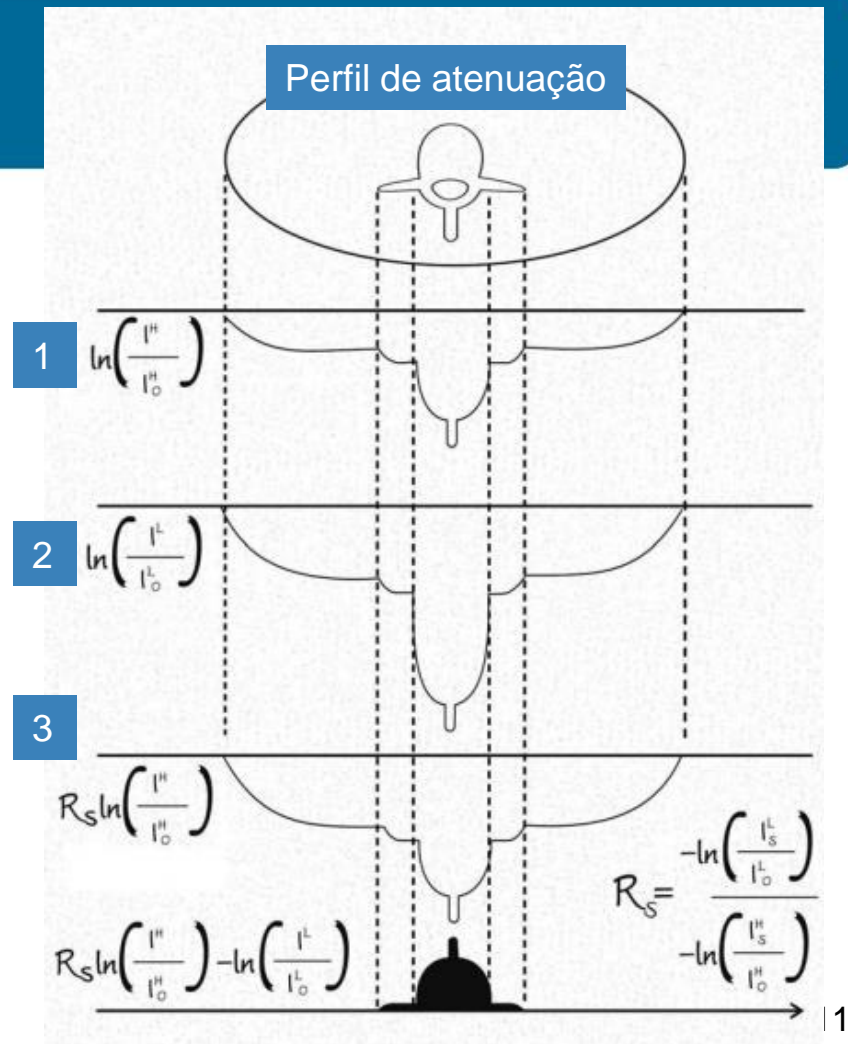
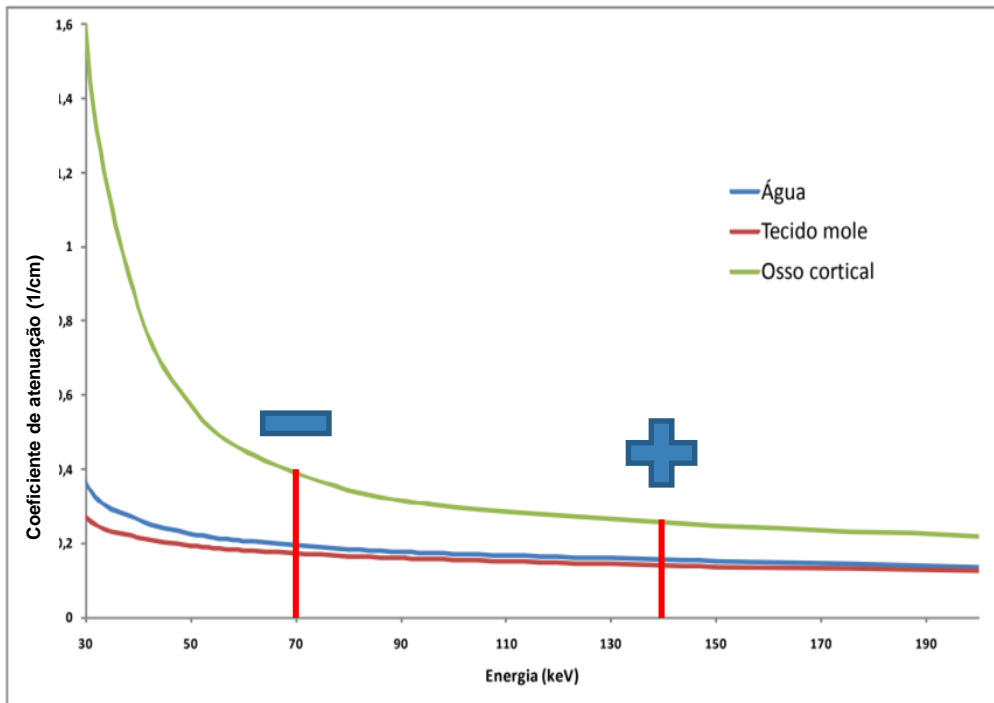
$$\sigma_o = \frac{\frac{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_m^B}{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_m^A} \ln\left(\frac{I^A}{I_0^A}\right) - \ln\left(\frac{I^B}{I_0^B}\right)}{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_o^B - \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_o^A \frac{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_m^B}{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_m^A}}$$

Dupla
energia



Princípios da DO

Como calcular o BMD?



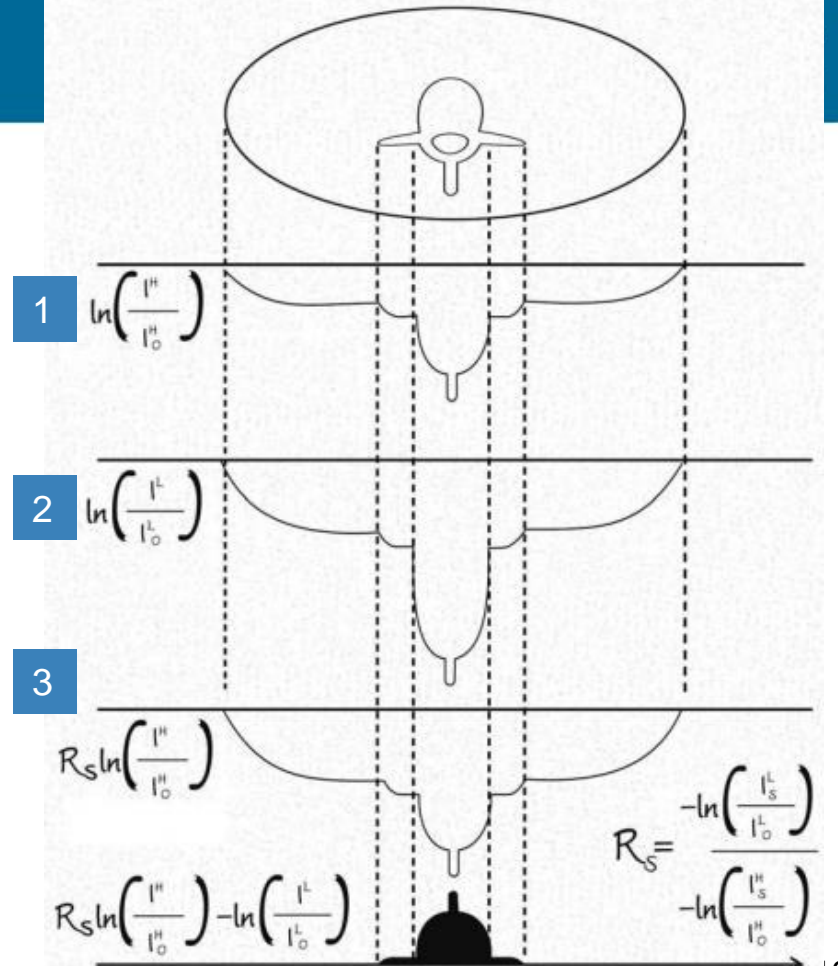
Princípios da DO

Como calcular o BMD?

$$\sigma_o = \frac{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_m^B \ln\left(\frac{I^A}{I_0^A}\right) - \ln\left(\frac{I^B}{I_0^B}\right)}{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_m^A}$$

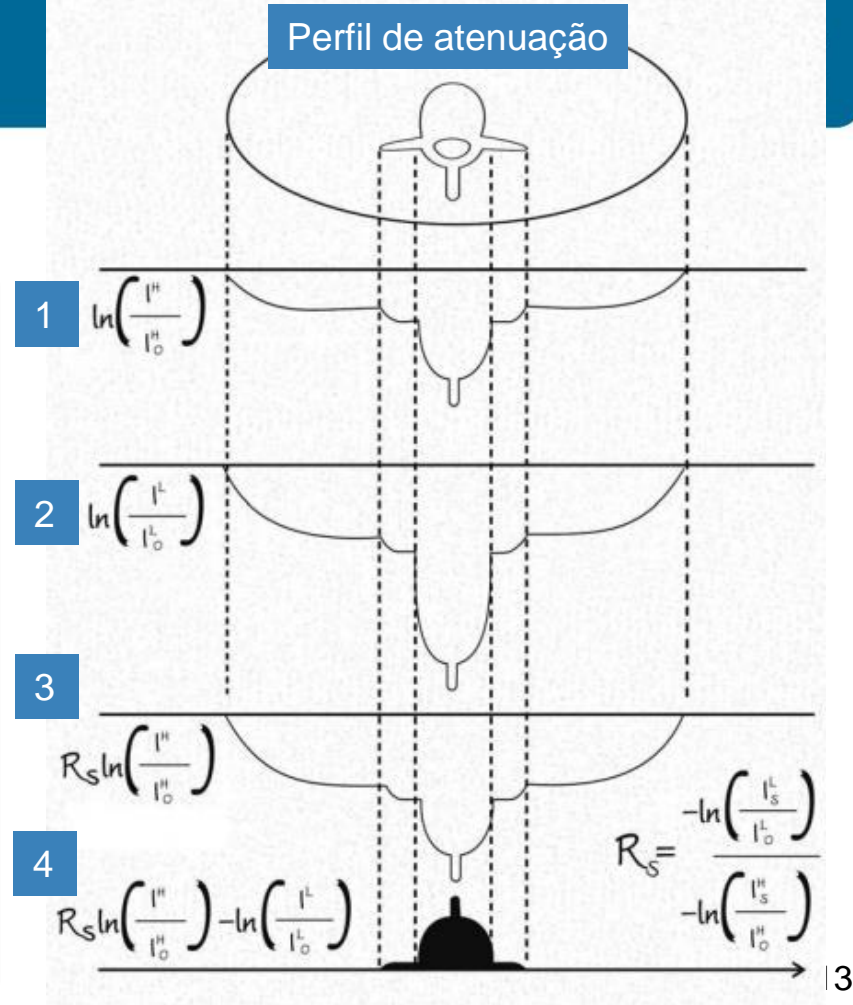
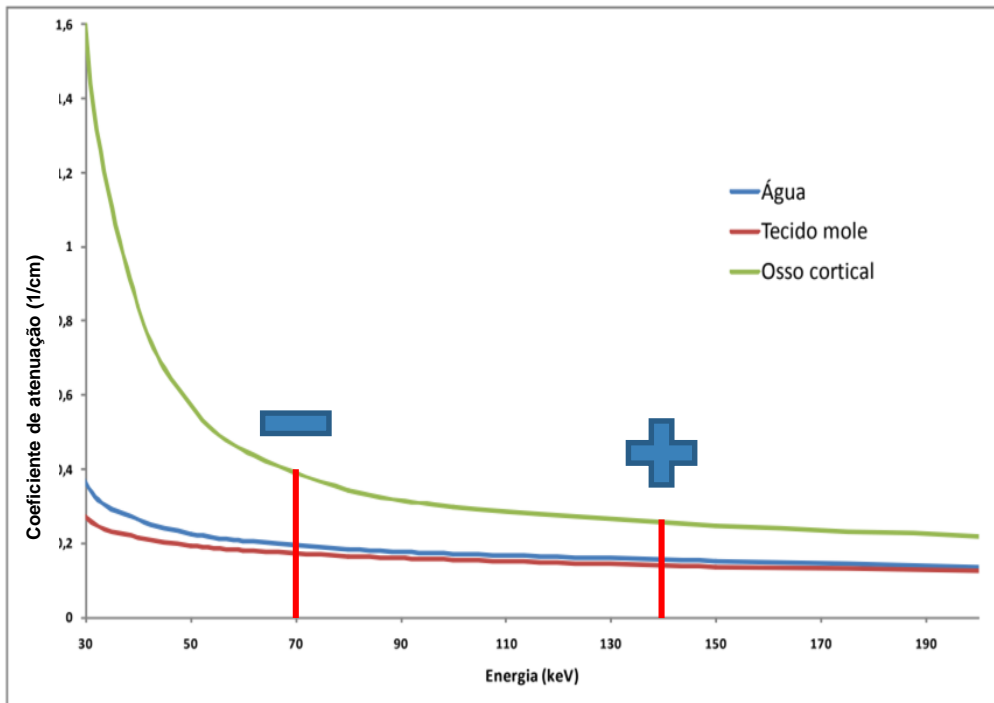
$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_o^B - \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_o^A = R_S$$

$$R_S = \frac{\ln\left(\frac{I}{I_0}\right)_m^B}{\ln\left(\frac{I}{I_0}\right)_m^A}$$



Princípios da DO

Como calcular o BMD?



Absorimetria por fótons de dupla energia

DPA

Duas fontes radioativas de energias distintas

I-125



Am-241

Cs-137



Am-241

Gd-153

40 keV

100 keV



Absormetria por dupla energia de Raios X

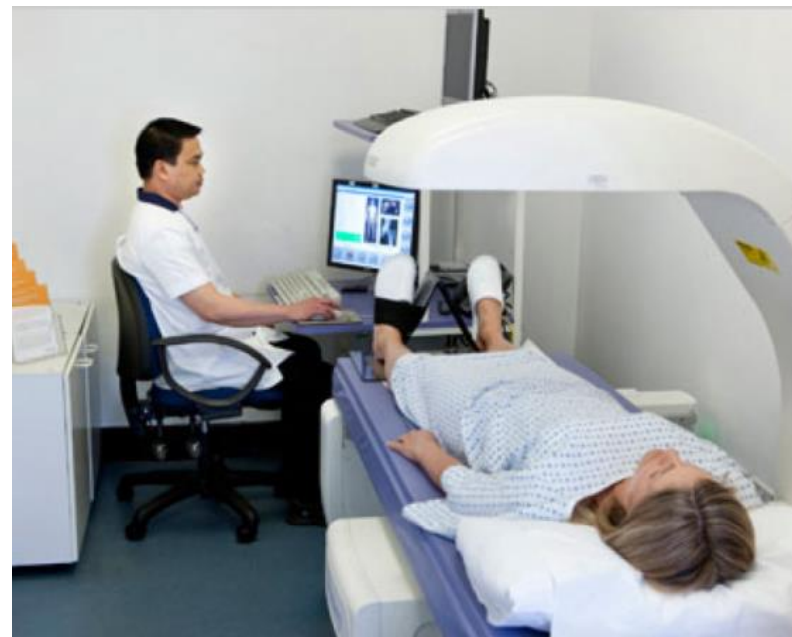
DXA

Tubo de raios X

Troca de fonte 

Tempo de varredura 

E a dupla energia?



Fonte: Google imagens

Absormetria por dupla energia de Raios X

Chaveamento

70 e 140 kVp

Pulsos

8,33 ms

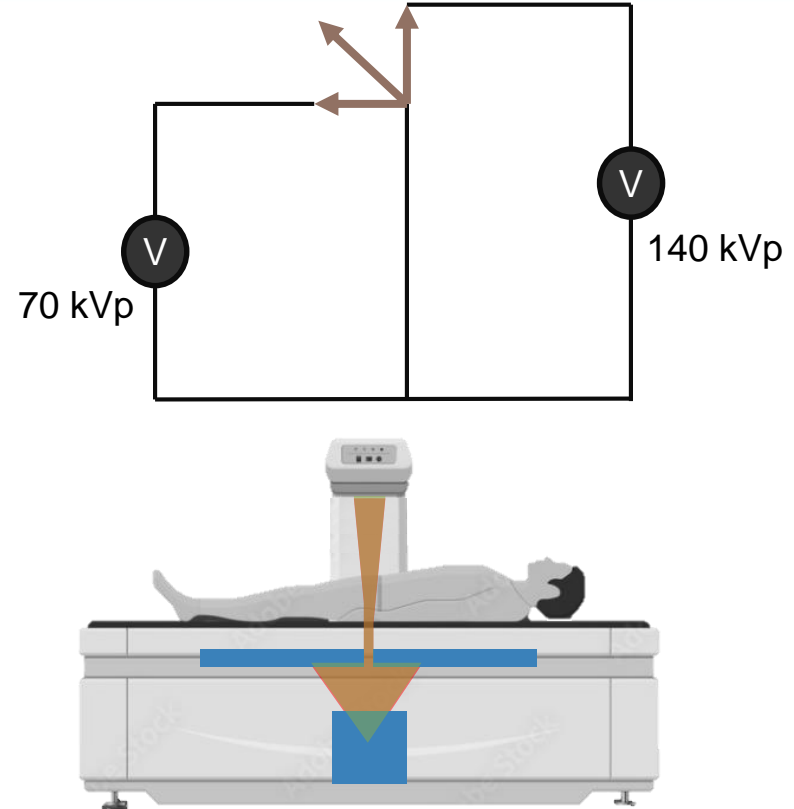
60 Hz

10 ms

50 Hz

Filtros de cobre ou latão

Minimiza a sobreposição dos espectros



Absorimetria por dupla energia de Raios X

Chaveamento

70 e 140 kVp

Pulsos

8,33 ms

60 Hz

10 ms

50 Hz

Filtros de cobre ou latão

Minimiza a sobreposição dos espectros

Detecção

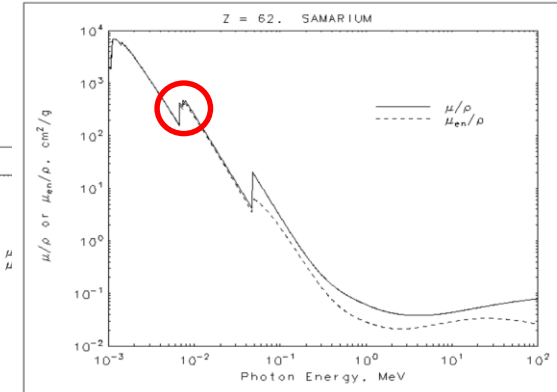
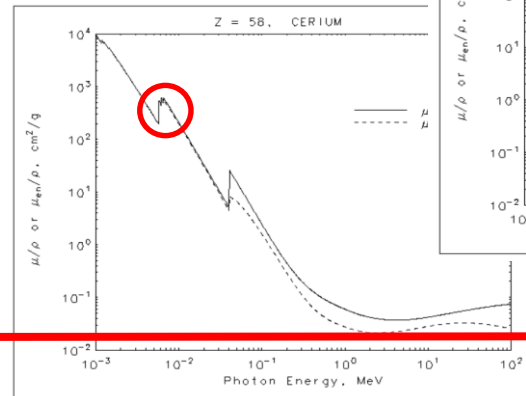
Medição de altura de pulso

Filtração do feixe

Filtro de borda K

Cério (Z=58) ou Samário (Z=62)

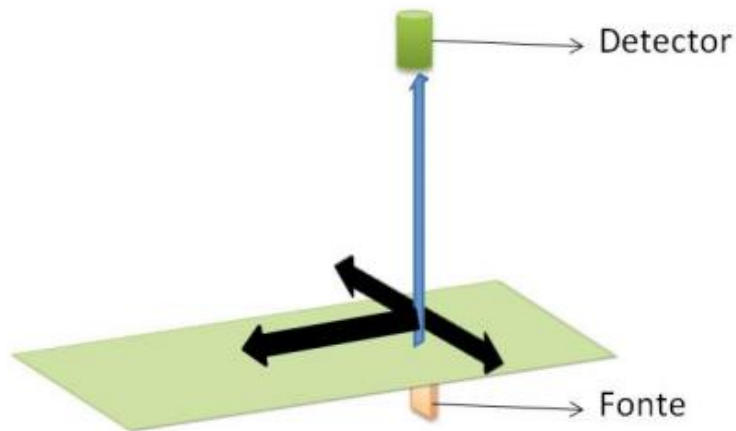
40 keV



Espectro de
pico duplo

Tipo de feixe

Lápis



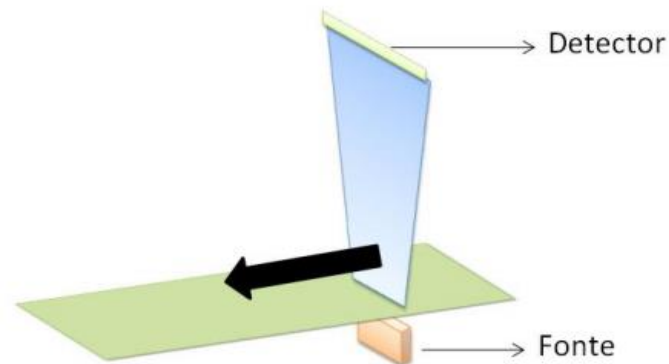
Um elemento detector

Tempo de scan

3 a 5 minutos

20 minutos

Leque



Fileira de elementos detectores

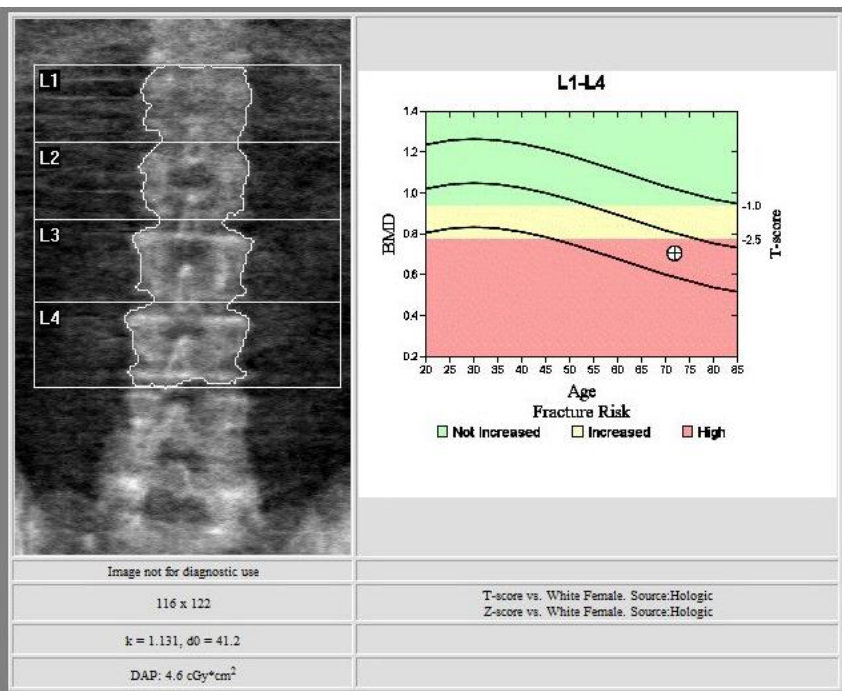
Tempo de scan

< 30 segundos

3 minutos

Densitometria Óssea

Relatório



Extended Results Summary

Region	Area[cm ²]	BMC[(g)]	BMD[g/cm ³]	T-score	PR (Peak Reference)	Z-score	AM (Age Matched)
L1	10.61	7.02	0.662	-3.0	67	-1.0	86
L2	10.71	6.99	0.653	-3.4	63	-1.2	83
L3	11.83	8.53	0.721	-3.3	67	-1.0	87
L4	12.86	9.99	0.777	-2.6	73	-0.2	97
L1-L2	21.32	14.01	0.657	-2.9	67	-0.8	88
L1,L3	22.44	15.55	0.693	-2.9	68	-0.8	89
L1,L4	23.47	17.01	0.725	-2.8	70	-0.6	91
L2-L3	22.53	15.51	0.688	-3.4	65	-1.1	85
L2,L4	23.56	16.98	0.721	-3.2	67	-1.0	87
L3-L4	24.68	18.52	0.750	-3.2	68	-0.8	89
L1-L3	33.15	22.54	0.680	-3.1	67	-0.9	87
L1-L2,L4	34.18	24.00	0.702	-3.0	68	-0.8	89
L1,L3-L4	35.30	25.54	0.724	-3.0	69	-0.7	90
L2-L4	35.39	25.50	0.721	-3.3	67	-1.0	87
L1-L4	46.00	32.53	0.707	-3.1	68	-0.9	88

Densitometria Óssea

Medidas quantitativas

BMC e BMD

➔ Conteúdo mineral ósseo (BMC)

$$g \text{ ou } \frac{g}{cm}$$

➔ Densidade mineral óssea (BMD)

$$\frac{g}{cm^2} \quad BMD = \frac{BMC}{\text{área óssea}}$$

T-score e Z-score

Sexo

Etnia

Idade



Densitometria Óssea

Medidas quantitativas

BMC e BMD

➔ Conteúdo mineral ósseo (BMC)

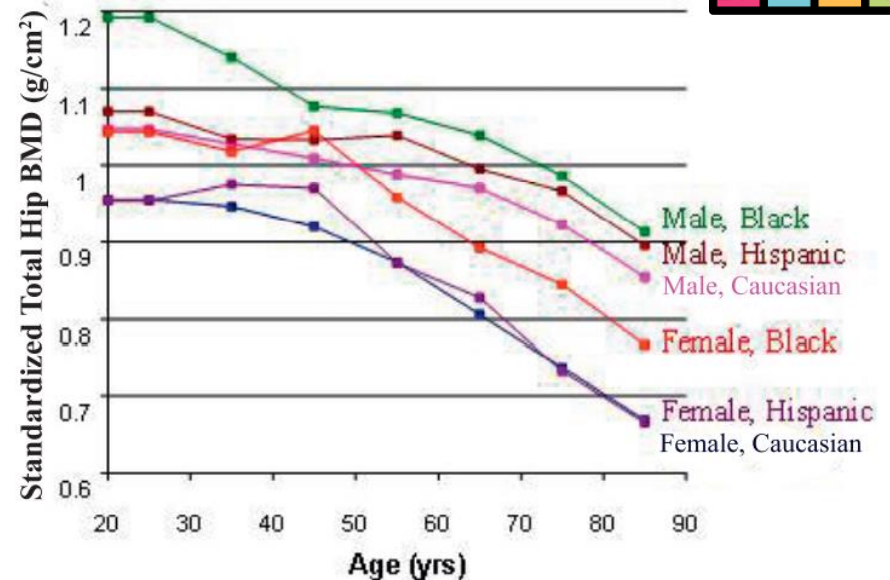
g ou $\frac{g}{cm}$

➔ Densidade mineral óssea (BMD)

$$BMD = \frac{BMC}{\text{área óssea}}$$

$\frac{g}{cm^2}$

T-score e Z-score



Densitometria Óssea

Medidas quantitativas

BMC e BMD

T-score e Z-score



➔ Conteúdo mineral ósseo

↳ g ou $\frac{g}{cm}$

Risco de fratura;
Osteoporose

$$T - score = \frac{BMD_{paciente} - BMD_{jovem}}{SD_{jovem}}$$

Comparação;
Baixa massa óssea

$$Z - score = \frac{BMD_{paciente} - BMD_{pares}}{SD_{pares}}$$

➔ Densidade mineral óssea

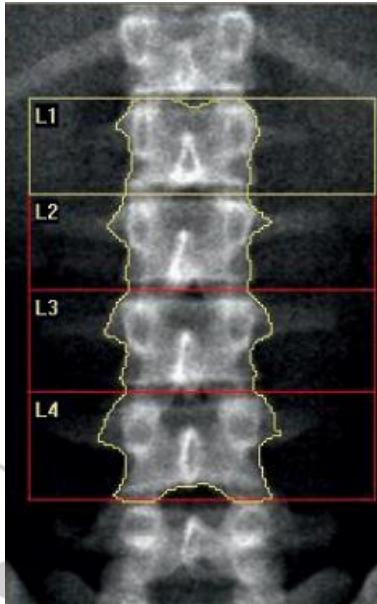
↳ $\frac{g}{cm^2}$



Valor de T-score	Diagnóstico
Até -1	Normal
Entre -1,1 e -2,5	Osteopenia
Abaixo de -2,5	Osteoporose
Abaixo de -2,5 na presença de fratura	Osteoporose estabelecida

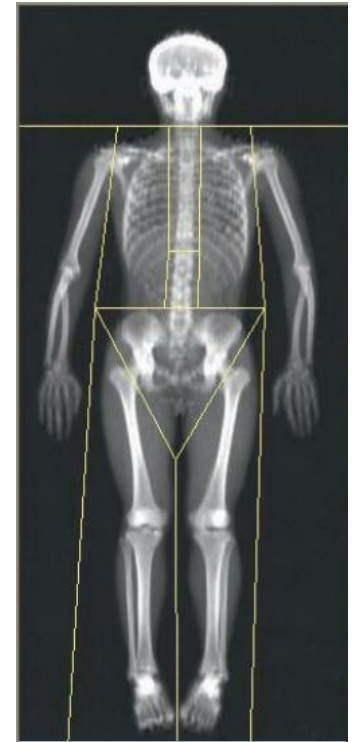
Regiões de interesse

Coluna



Fêmur

Antebraço



Corpo inteiro

Banco de dados

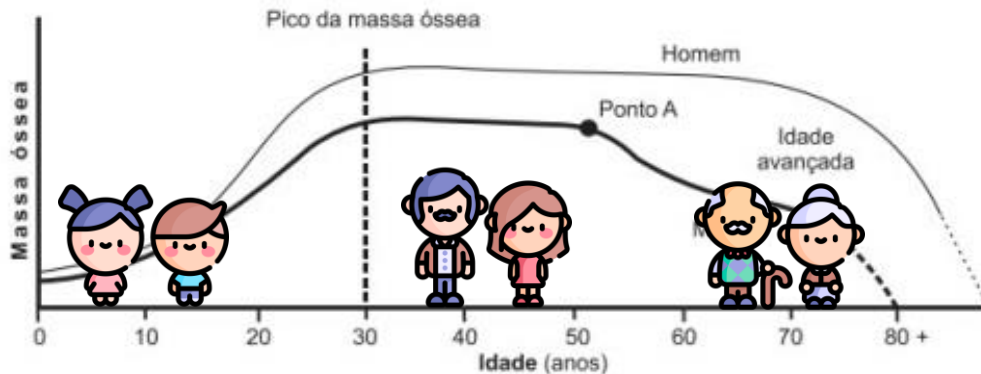


HOLOGIC®

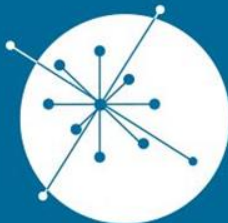
Referências

[1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Dual Energy X Ray Absorptiometry for Bone Mineral Density and Body Composition Assessment, IAEA Human Health Series No. 15, IAEA, Vienna (2011)

[2] Hipermídia, DENSITOMETRIA ÓSSEA



Obrigada!



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

IFUSP - Instituto de Física da USP