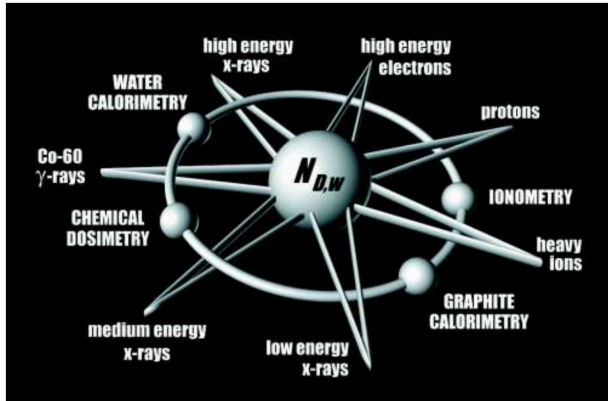


Exemplos

1. Calibração de um acelerador linear utilizado em radioterapia.



Para a calibração de aceleradores lineares em radioterapia utiliza-se como referência o documento da IAEA TRS-398

Existem muitos factores (multiplicadores com dimensões) envolvidos na ‘cadeia dosimétrica’ que começa com um factor de calibração em termos de kerma no ar (N_K) medido utilizando fontes de ^{60}Co em laboratórios primários até à dose absorvida na água (D_w) determinada nos feixes em meio hospitalar.

$$D_{w,Q} = M_k N_{D,w,Q} k_{Q,Q_0}$$

Factor de correcção para uso de câmara de ionização diferente de feixe de referência

Dose na água de feixe de qualidade “Q”
(não mensurável)

Medição realizada no hospital nas condições definidas no TRS-398

Factor de multiplicação para dose na água para o feixe de referência da câmara de ionização utilizada.
(medido)

O factor k_{Q,Q_0}

$$k_{Q,Q_0} = \frac{\frac{D_w^Q}{D_{air}^Q}}{\frac{D_w^{Q_0}}{D_{air}^{Q_0}}}$$

Não pode ser determinado experimentalmente



São utilizados métodos numéricos para determinar



Técnicas de Monte-Carlo

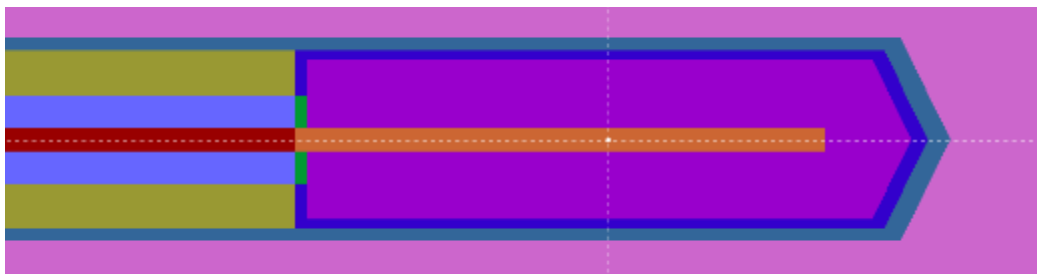
Nesta disciplina iremos falar muito de "técnicas de Monte-Carlo", por hoje vamos apenas dizer que são métodos numéricos que utilizam números aleatórios para a realização de cálculos. Neste caso em específico e na maioria dos casos as técnicas de Monte-Carlo em Física Médica são utilizadas para simular o transporte de partículas (fótons, electrões, prótons, etc.)

Técnicas de Monte-Carlo para cálculo do factor

k_Q, Q_0

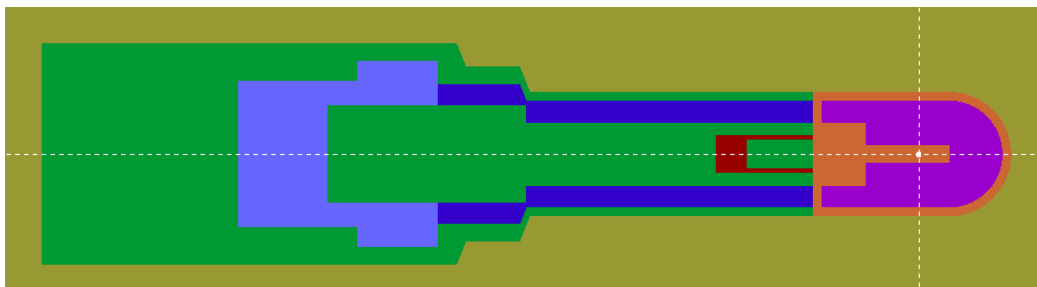
- As câmaras de ionização são definidas de forma minuciosa e detalhada, para cálculo da dose no ar.
- É definido igualmente um pequeno volume de água para cálculo da dose na água.
- São utilizados normalmente ficheiros de “espaço de fase” que guardam informação medida ou simulada de partículas de feixes de diferentes qualidades (Varian, Siemens, Elekta, Co-60, etc etc etc).

NE2571
0.68 cm³



Materials:
Air, Graphite,
Aluminium, PMMA,
PCTFE

Exradin A12S
0.25 cm³

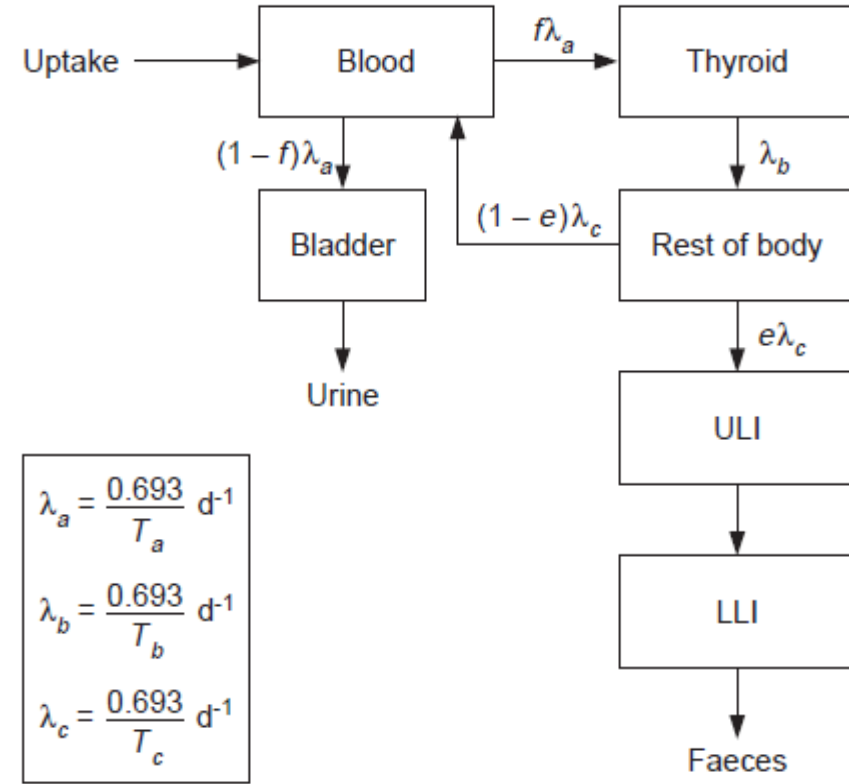


Materials:
Air, C552, PTFE, POM

Exemplos de 2 câmaras
de ionização simuladas

2. Cálculo de fármaco-cinética de um radiofármaco (Iodo-131)

- Quando ingerimos/somos injectados/etc um fármaco, a sua cinética, i.e., a sua variação ao longo do tempo nos diferentes órgãos, não é possível de ser medida experimentalmente.
- Para realizar o estudo desta cinética utilizam-se “modelos compartimentais”. Estes modelos consideram que cada órgão ou sistema de órgãos é um compartimento e que entre cada compartimento existem taxas de transferências que são proporcionais à quantidade de fármaco em cada órgão.
- O Iodo 131 é utilizado na terapia de cancro da tiróide e hipertireoidismo. Normalmente é tomado via cápsulas que são ingeridas.



$$\begin{aligned}\lambda_a &= \frac{0.693}{T_a} \text{ d}^{-1} \\ \lambda_b &= \frac{0.693}{T_b} \text{ d}^{-1} \\ \lambda_c &= \frac{0.693}{T_c} \text{ d}^{-1}\end{aligned}$$

Model parameters for iodine

Age	f_1	Uptake by thyroid, f	Faecal excretion, e	Biological half-time (d)		
				Thyroid T_a	Thyroid T_b	Rest of body T_c
Adult	1	0.3	0.2	0.25	80	12

- Em baixo é apresentado o modelo

Modelo biocinético do lodo

Modelo biocinético do lodo



Modelo biocinético do lodo

Sangue

Tiróide

Bexiga

Resto
do
corpo

Intestinos

Modelo biocinético do lodo

Sangue

Tiróide

Bexiga

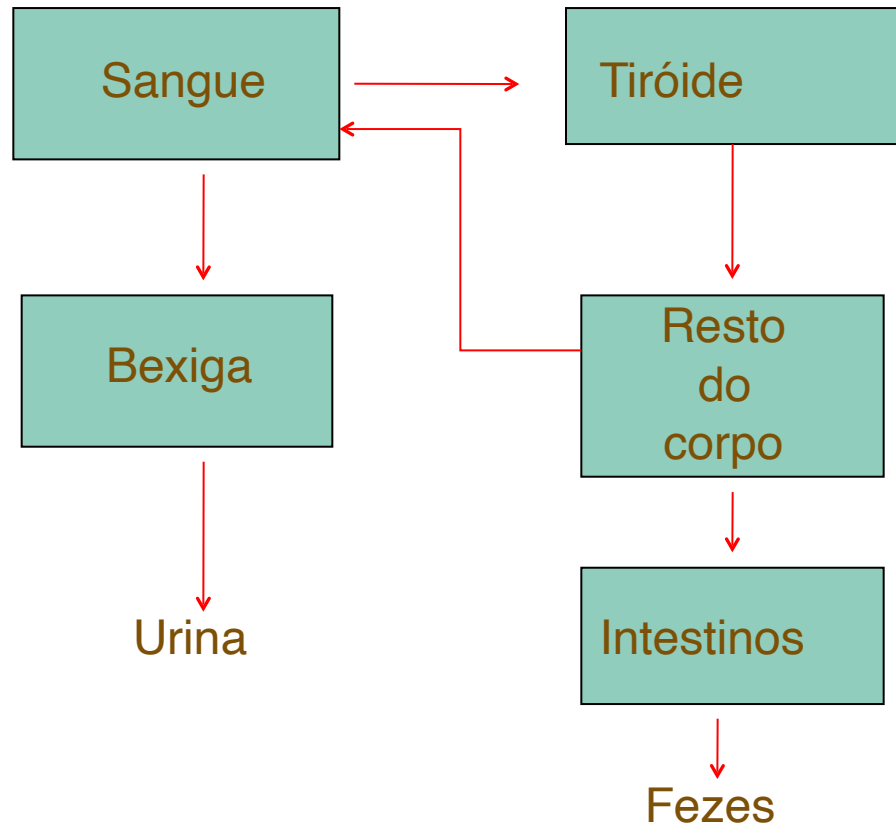
Resto
do
corpo

Urina

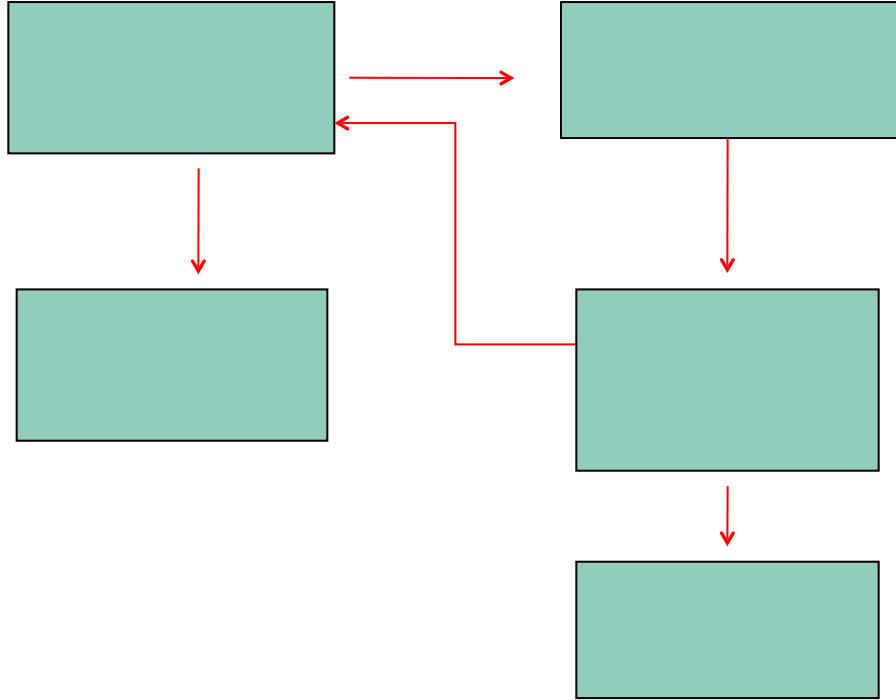
Intestinos

Fezes

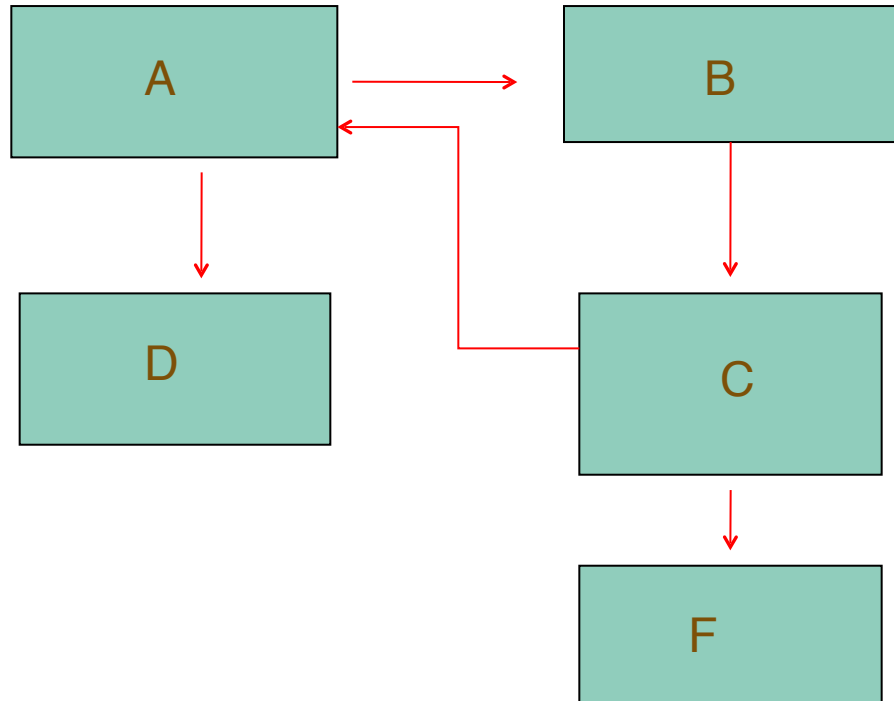
Modelo biocinético do Iodo



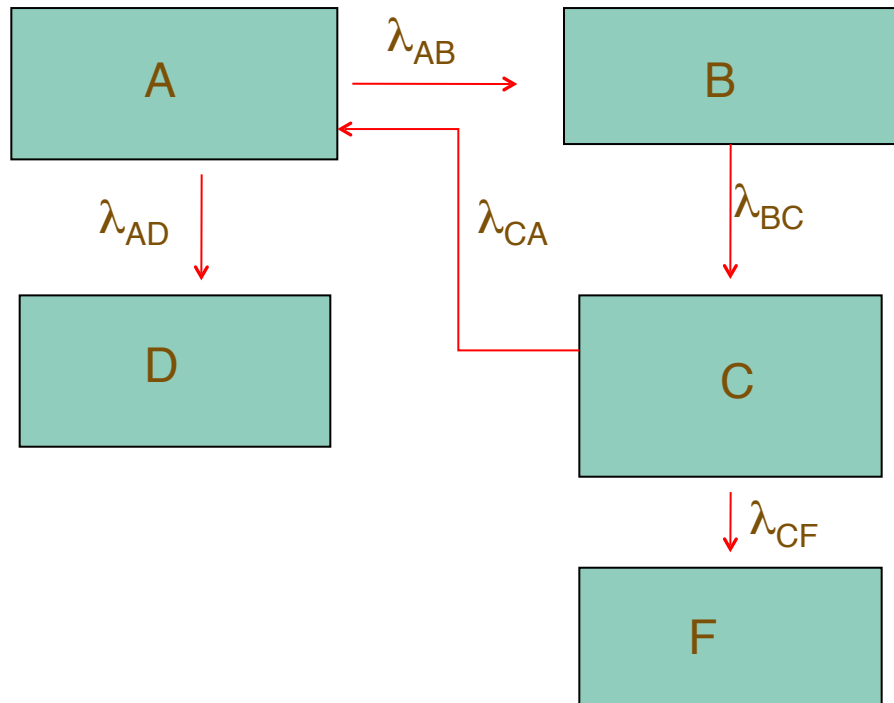
Modelo biocinético do lodo



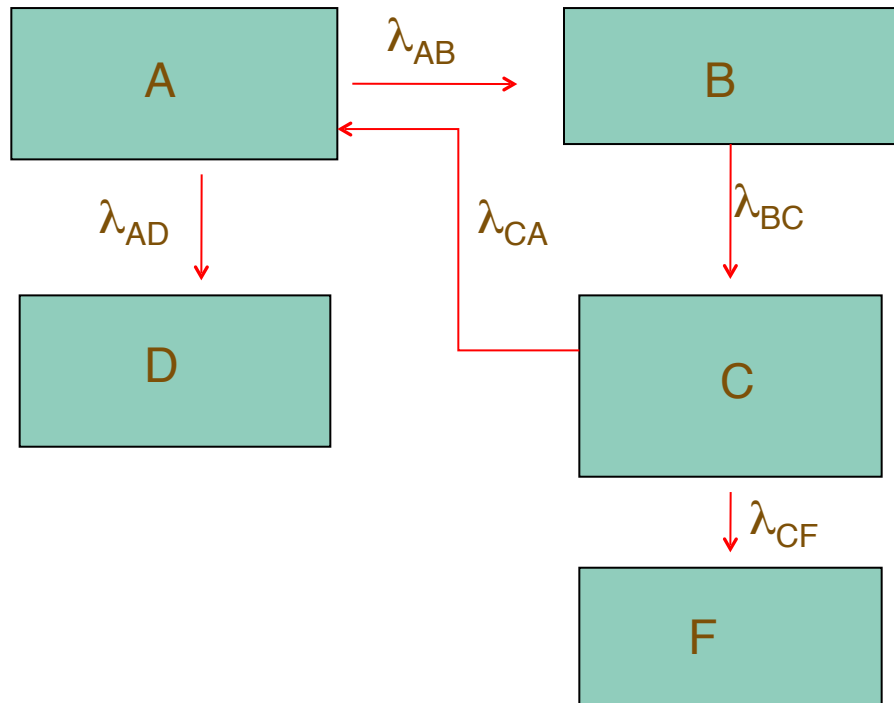
Modelo biocinético do lodo



Modelo biocinético do lodo

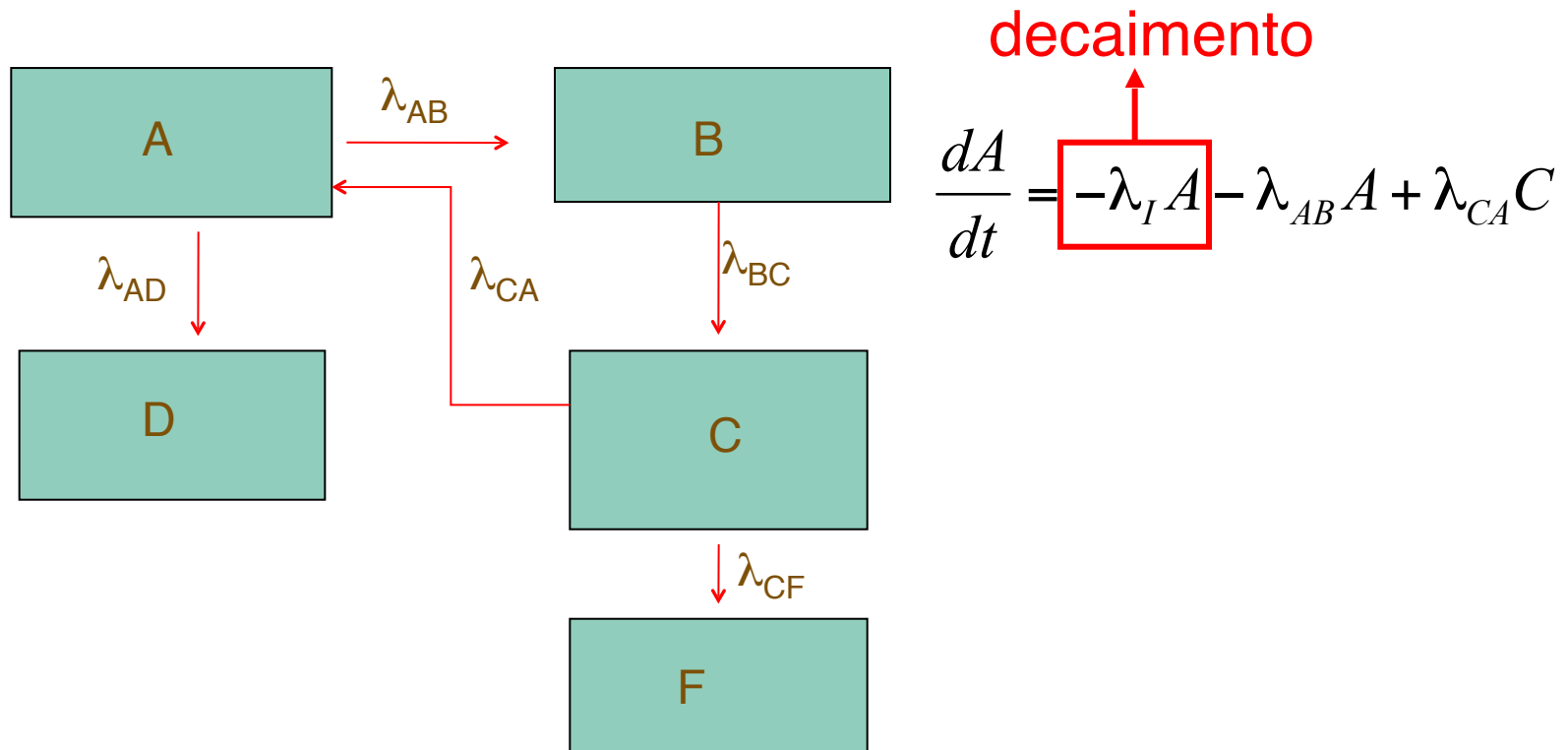


Modelo biocinético do lodo

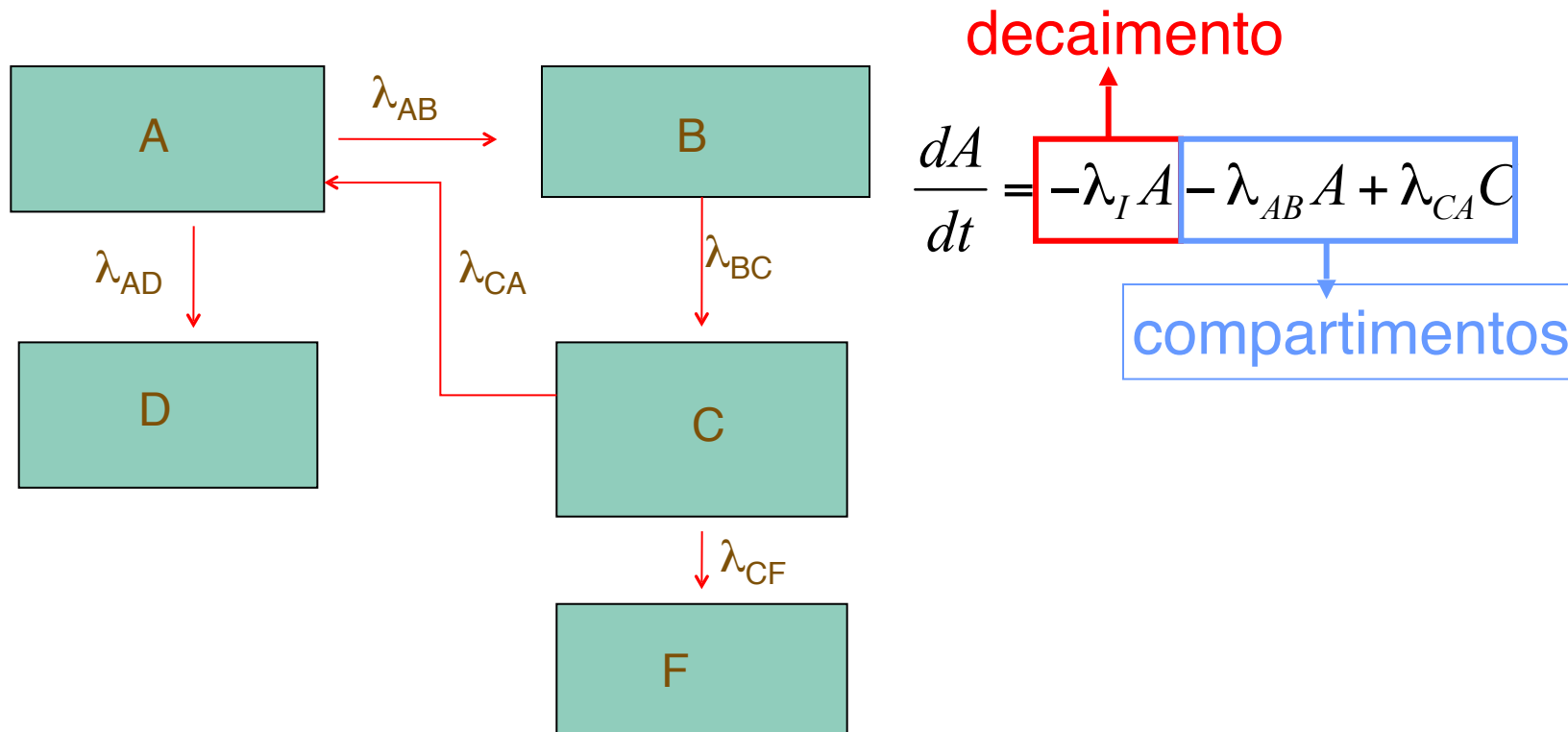


$$\frac{dA}{dt} = -\lambda_I A - \lambda_{AB} A + \lambda_{CA} C$$

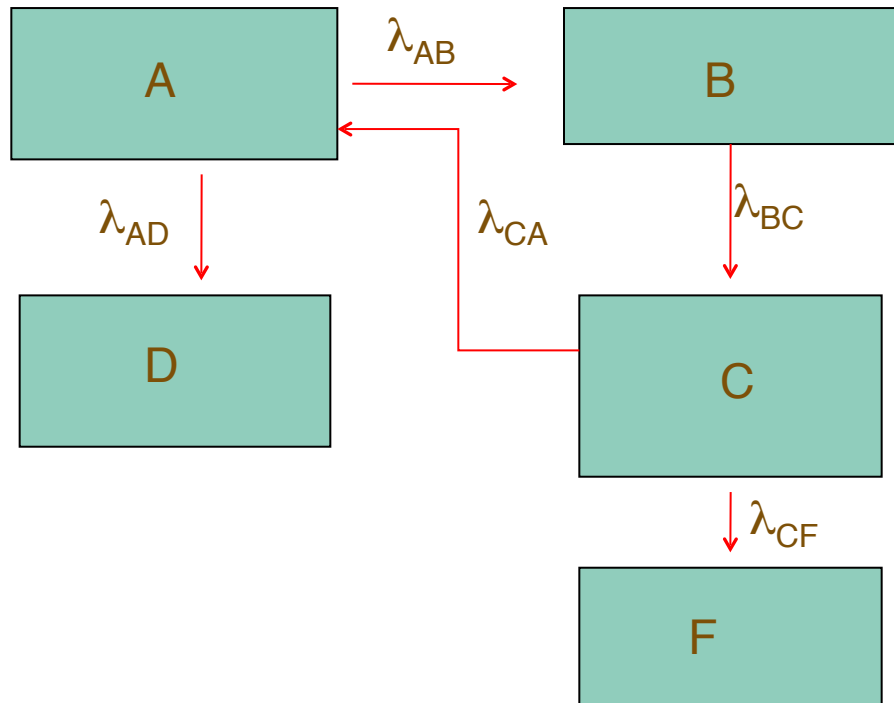
Modelo biocinético do lodo



Modelo biocinético do lodo

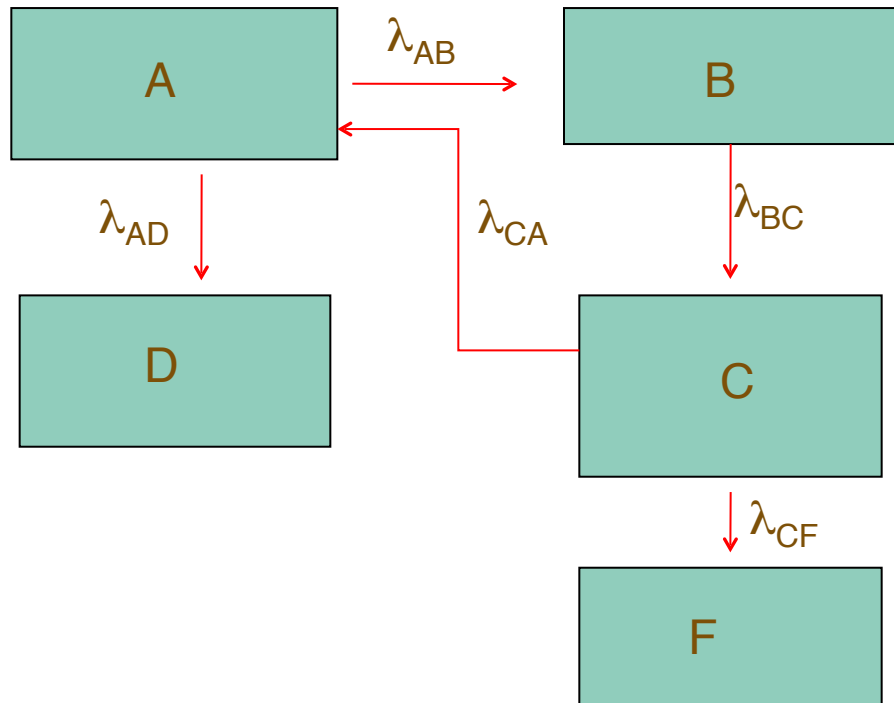


Modelo biocinético do lodo



$$\frac{dA}{dt} = -\lambda_I A - \lambda_{AB} A + \lambda_{CA} C$$

Modelo biocinético do lodo



$$\frac{dA}{dt} = -\lambda_I A - \lambda_{AB} A + \lambda_{CA} C$$

$$\frac{dB}{dt} = -\lambda_I B + \lambda_{AB} A - \lambda_{BC} B$$

$$\frac{dC}{dt} = -\lambda_I C - \lambda_{CA} C - \lambda_{CF} C + \lambda_{BC} B$$

$$\frac{dD}{dt} = -\lambda_I D + \lambda_{AD} A$$

$$\frac{dF}{dt} = -\lambda_I F + \lambda_{CF} C$$

Modelo biocinético do lodo

$$\frac{dA}{dt} = -\lambda_I A - \lambda_{AB} A + \lambda_{CA} C$$

$$\frac{dB}{dt} = -\lambda_I B + \lambda_{AB} A - \lambda_{BC} B$$

$$\frac{dC}{dt} = -\lambda_I C - \lambda_{CA} C - \lambda_{CF} C + \lambda_{BC} B$$

$$\frac{dD}{dt} = -\lambda_I D + \lambda_{AD} A$$

$$\frac{dF}{dt} = -\lambda_I F + \lambda_{CF} C$$

Modelo biocinético do lodo

$$\frac{dA}{dt} = -\lambda_I A - \lambda_{AB} A + \lambda_{CA} C$$

$$\frac{dB}{dt} = -\lambda_I B + \lambda_{AB} A - \lambda_{BC} B$$

$$\frac{dC}{dt} = -\lambda_I C - \lambda_{CA} C - \lambda_{CF} C + \lambda_{BC} B$$

$$\frac{dD}{dt} = -\lambda_I D + \lambda_{AD} A$$

$$\frac{dF}{dt} = -\lambda_I F + \lambda_{CF} C$$

Modelo biocinético do lodo

$$\frac{dA}{dt} = -\lambda_I A - \lambda_{AB} A + \lambda_{CA} C$$

$$\frac{dB}{dt} = -\lambda_I B + \lambda_{AB} A - \lambda_{BC} B$$

$$\frac{dC}{dt} = -\lambda_I C - \lambda_{CA} C - \lambda_{CF} C + \lambda_{BC} B$$

$$\frac{dD}{dt} = -\lambda_I D + \lambda_{AD} A$$

$$\frac{dF}{dt} = -\lambda_I F + \lambda_{CF} C$$

Modelo biocinético do lodo

$$\frac{dA}{dt} = -\lambda_I A - \lambda_{AB} A + \lambda_{CA} C$$

$$\frac{dB}{dt} = -\lambda_I B + \lambda_{AB} A - \lambda_{BC} B$$

$$\frac{dC}{dt} = -\lambda_I C - \lambda_{CA} C - \lambda_{CF} C + \lambda_{BC} B$$

$$\frac{dD}{dt} = -\lambda_I D + \lambda_{AD} A$$

$$\frac{dF}{dt} = -\lambda_I F + \lambda_{CF} C$$

$$\lambda_{AB} = f \cdot \lambda_a = 0,3 \times \frac{0,693}{0,25} = 0,832 d^{-1}$$

$$\lambda_{BC} = \lambda_b = \frac{0,693}{80} = 0,00866 d^{-1}$$

$$\lambda_{CA} = (1 - e) \cdot \lambda_c = 0,8 \times \frac{0,693}{12} = 0,0462 d^{-1}$$

$$\lambda_{CF} = e \cdot \lambda_c = 0,2 \times \frac{0,693}{12} = 0,0116 d^{-1}$$

$$\lambda_{AD} = (1 - f) \cdot \lambda_a = 0,7 \times \frac{0,693}{0,25} = 1,940 d^{-1}$$

Modelo biocinético do lodo

$$\frac{dA}{dt} = -\lambda_I A - \lambda_{AB} A + \lambda_{CA} C$$

$$\frac{dB}{dt} = -\lambda_I B + \lambda_{AB} A - \lambda_{BC} B$$

$$\frac{dC}{dt} = -\lambda_I C - \lambda_{CA} C - \lambda_{CF} C + \lambda_{BC} B$$

$$\frac{dD}{dt} = -\lambda_I D + \lambda_{AD} A$$

$$\frac{dF}{dt} = -\lambda_I F + \lambda_{CF} C$$

$$\lambda_{AB} = f \cdot \lambda_a = 0,3 \times \frac{0,693}{0,25} = 0,832 d^{-1}$$

$$\lambda_{BC} = \lambda_b = \frac{0,693}{80} = 0,00866 d^{-1}$$

$$\lambda_{CA} = (1 - e) \cdot \lambda_c = 0,8 \times \frac{0,693}{12} = 0,0462 d^{-1}$$

$$\lambda_{CF} = e \cdot \lambda_c = 0,2 \times \frac{0,693}{12} = 0,0116 d^{-1}$$

$$\lambda_{AD} = (1 - f) \cdot \lambda_a = 0,7 \times \frac{0,693}{0,25} = 1,940 d^{-1}$$

$$\lambda_I = 0,086 d^{-1}$$

Modelo biocinético do lodo

$$\frac{dA}{dt} = -\lambda_I A - \lambda_{AB} A + \lambda_{CA} C$$

$$\frac{dB}{dt} = -\lambda_I B + \lambda_{AB} A - \lambda_{BC} B$$

$$\frac{dC}{dt} = -\lambda_I C - \lambda_{CA} C - \lambda_{CF} C + \lambda_{BC} B$$

$$\frac{dD}{dt} = -\lambda_I D + \lambda_{AD} A$$

$$\frac{dF}{dt} = -\lambda_I F + \lambda_{CF} C$$

$$\lambda_{AB} = f \cdot \lambda_a = 0,3 \times \frac{0,693}{0,25} = 0,832d^{-1}$$

$$\lambda_{BC} = \lambda_b = \frac{0,693}{80} = 0,00866d^{-1}$$

$$\lambda_{CA} = (1 - e) \cdot \lambda_c = 0,8 \times \frac{0,693}{12} = 0,0462d^{-1}$$

$$\lambda_{CF} = e \cdot \lambda_c = 0,2 \times \frac{0,693}{12} = 0,0116d^{-1}$$

$$\lambda_{AD} = (1 - f) \cdot \lambda_a = 0,7 \times \frac{0,693}{0,25} = 1,940d^{-1}$$

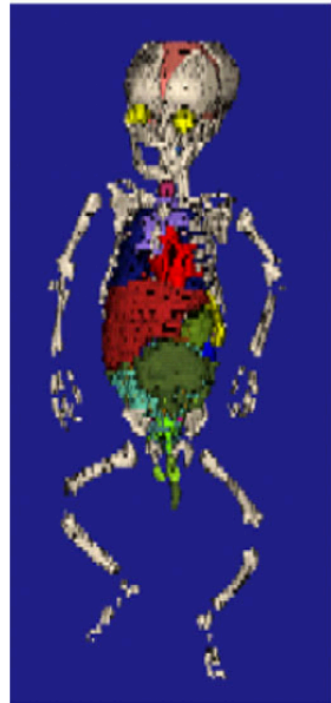
$$\lambda_I = 0,086d^{-1}$$



Para resolver este sistema de equações diferenciais utilizamos métodos numéricos!

Técnicas de Monte-Carlo para cálculo da dose absorvida em órgãos

- Já vimos como não é possível medir a dose absorvida em cada órgão, isto é válido também para radiodiagnóstico. Imaginemos um grupo de crianças que é submetido a um exame de cintigrafia renal, utilizando um composto ^{99m}Tc -DMSA.
- Podemos calcular a biocinética do composto no rim, mas também a dose em cada órgão de interesse (rins, fígado, baço, resto do corpo).
- Temos especial interesse em calcular a dose no rim. Isso pode ser feito com recurso a fantasmas de VOXEL dedicados pediátricos que permitem correr o código MCNP utilizando o fantoma



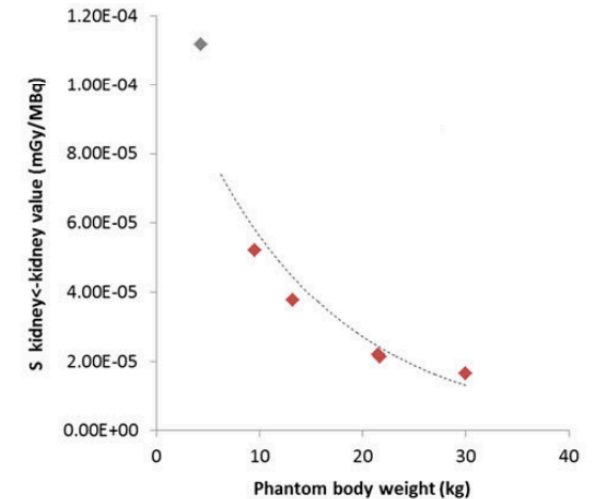
BABY



CHILD

	BABY	CHILD
Gender	F	F
Age	8 weeks	7 y
Height (cm)	57	115
Weight (kg)	4.2	21.7
Kidney mass (g)	30.3	188.8
Matrix dimension	267 × 138 × 142	256 × 256 × 144
Original dimensions of the voxels	(0.085 × 0.085 × 0.4 = 0.00289) cm ³	(0.154 × 0.154 × 0.8 = 0.01897) cm ³

MCNPX



Teles, P., Mendes, M., Zankl, M., de Sousa, V., Santos, A. I., & Vaz, P. (2016). Assessment of the Absorbed Dose in the Kidney of Nuclear Nephrology Paediatric Patients using ICRP Biokinetic Data and Monte Carlo Simulations with Mass-Scaled Paediatric Voxel Phantoms. *Radiation Protection Dosimetry*. doi:10.1093/rpd/ncw096

Técnicas de Monte-Carlo para cálculo da dose no cristalino em cardiologia e radiologia de intervenção

- Exposição prolongada do cristalino a doses baixas de radiação pode levar ao aparecimento de cataratas
- Não existe uma forma de medir a dose no cristalino utilizando-se um “proxy” Hp(3) que depois é transformado em dose no cristalino a partir de cálculos usando Monte-Carlo
- Existem projectos que pretendem, por exemplo, fazer este cálculo em tempo real para ajudar o profissional a saber quando atingiu um determinado limite.

