

## Efeito biológico da radiação

Escrito por Ederson Akio Kido, Laureen M. Houllou Kido, Luis Cesar M. S. Paulillo  
Ter, 01 de Fevereiro de 2011 13:35

---

Normalmente, estamos circundados pela radiação. Traços de elementos radioativos existem no solo e parte do H, C e K estão na forma de isótopos radioativos em nosso corpo. No entanto, todos os organismos estão adaptados aos níveis de radiação natural. Porém, com o aumento do uso de materiais radioativos pelo homem, com fins médicos, militares, científicos e de produção de energia, tornou-se necessário o estudo do efeito da radiação ionizante sobre os seres vivos, bem como estabelecer cuidados necessários com a manipulação dessas substâncias radioativas.

Em 1952, a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) definiu os limites para exposição externa. Foram adotados os limites previamente estabelecidos pelo Canadá, Estados Unidos e Inglaterra, logo após a Segunda Guerra Mundial. Mais recentemente, estes valores foram revistos. Entretanto, nem todos os países adotam os novos limites. No Brasil, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) é a responsável pelas diretrizes da radioproteção.

O efeito biológico da radiação pode ser verificado em diferentes níveis:

A) Célula: neste caso, quando a radiação entra no corpo e interage com a célula, há quatro possibilidades:

- a radiação passa pela célula sem causar dano;
- causa dano, mas este é corrigido antes que a célula se divida;
- o dano não é corrigido, sendo repassado as células filhas;
- ocorre morte celular.

Em uma célula, a radiação pode atuar de duas principais formas: formando compostos tóxicos (peróxido de hidrogênio e radicais livres) ou agindo diretamente no DNA. No primeiro caso, o H

<sup>2</sup>  
O

<sup>2</sup>

é extremamente tóxico e estável na célula, sendo necessária várias enzimas para retirá-lo. A ação destes compostos sobre o DNA, em uma célula eucarionte, ocorre principalmente durante a divisão celular, quando a membrana que protege o núcleo é desmontada. Um dos piores efeitos da radiação sobre o DNA é a danificação dos genes que controlam a divisão celular. Neste caso, algumas células começam a se multiplicar sem controle, dando origem a tumores. Quando os danos são massivos, estes chegam a causar a morte da célula. Quando os danos ocorrem em um nível menor, afetando um ou poucos genes, é possível ao organismo expressar os efeitos destes danos. Em organismos complexos, como os mamíferos, o maquinário celular consegue corrigir a grande maioria dos danos. Nas gônadas dos machos,

## Efeito biológico da radiação

Escrito por Ederson Akio Kido, Laureen M. Houllou Kido, Luis Cesar M. S. Paulillo  
Ter, 01 de Fevereiro de 2011 13:35

---

por exemplo, os danos são reparados em poucos dias ou horas. Por outro lado, danos significativos em ovos fertilizados interrompem o desenvolvimento, gerando abortos não identificados. Estimativas sugerem que 5% das células fertilizadas são perdidas desta forma.

### B) Tecidos

Os tecidos com elevados índices de divisão celular são os mais sensíveis a radiação, pois há pouco tempo para que os mecanismos de reparo da célula possam atuar. Assim, tecidos embrionários são extremamente sensíveis à radiação. Para se ter uma idéia, a dose que causa 100% de mortalidade em adultos é de 1000 rem, ao passo que para embriões essa dose é de 200 rem. Geralmente, doses baixas provocam mau-formações em embriões, podendo também ser fatais. Em tecidos com baixos níveis de divisão, os efeitos da radiação se restringem a célula afetada. Apenas dosagens mais altas, que danificam um grande número de células, é que seriam capazes de causar alterações no funcionamento de um órgão. De uma forma geral, o comprometimento de um órgão é proporcional ao número de células afetadas. Por exemplo, o  $^{133}\text{I}$  pode acarretar hipotireoidismo quando causa a morte de um grande número de células na tireóide.

### Tipos de exposição aos radioisótopos

A exposição a materiais radioativos pode ser classificada em:

- externa: quando a fonte radioativa encontra-se fora do corpo (ex: nuvem de gás radioativo, raio-X odontológico);
- Interna: quando o material radioativo entra no corpo através de ingestão, inalação ou cortes na pele.

### Distribuição de radioisótopos pelo corpo

Os elementos radioativos, dentro de um corpo, podem se acumular em um órgão ou se distribuir ao longo de todos os tecidos. Quando o material se concentra em um tecido (órgão), este é o primeiro a apresentar os sintomas devidos ao efeito da radiação. O acúmulo em um determinado ponto do corpo ocorre se o elemento radioativo apresenta propriedades químicas similares a substâncias que o órgão necessite. Como as células não conseguem diferenciar o elemento radioativo de um não radioativo, ocorre a absorção. Entretanto, alguns elementos se acumulam em tecidos mesmo não apresentando similaridade com elementos fundamentais (ex.:  $^{239}\text{Np}$  no trato gastro-intestinal).

Um exemplo de elemento radioativo que se distribui por todo o corpo é o trítio ( $^3\text{H}$ ). Como este é similar ao átomo de hidrogênio, o acúmulo se dá em todas as células na forma de molécula de água.

### Permanência no corpo

## Efeito biológico da radiação

Escrito por Ederson Akio Kido, Laureen M. Houllou Kido, Luis Cesar M. S. Paulillo  
Ter, 01 de Fevereiro de 2011 13:35

---

Uma substância radioativa, quando dentro do corpo, vai continuar afetando os tecidos até decair ou ser eliminada metabolicamente. Tais processos ocorrem simultaneamente, sendo a redução dos níveis de radioatividades dependentes da meia-vida do elemento e da velocidade de excreção.

### Radioatividade e saúde

Muito do que se sabe sobre o efeito da radiação sobre a saúde humana veio de estudos terapêuticos (radioatividade medicinal), dos sobreviventes de bombardeios nucleares (Japão) e de acidentes como o de Chernobyl (Rússia). Estes estudos permitiram avaliar o grau de comprometimento de tecidos e órgãos, expostos a diferentes níveis e tipos de radiação. Na tabela abaixo encontra-se, resumidamente, a correlação entre doses de radiação e seus efeitos na saúde.

**Dose (rem)**

**Efeito**

250 - 1000

Dosagem de 1000 rem: DL (dose letal) de 100%. Dosagem de 250 rem: DL 50%. Doses intermediária:

~ 250

São observados os mesmos efeitos das doses mais altas, no entanto sua intensidade é menor. Dosagem

## Efeito biológico da radiação

Escrito por Ederson Akio Kido, Laureen M. Houllou Kido, Luis Cesar M. S. Paulillo  
Ter, 01 de Fevereiro de 2011 13:35

---

Doses baixas (5 rem)

Assintomático. Pessoas sensíveis apresentam enjôo. Há riscos de desenvolvimento de tumores, mutações

É importante salientar que a forma como um indivíduo reage a uma exposição radioativa é influenciada por vários fatores (idade, predisposição genética, tempo de exposição, estágio fisiológico, etc). Com base em estudos foram estimados os limites máximos de exposição / ano para diferentes porções do corpo. Na tabela abaixo estão os limites recomendados pela ICRP.

**Dose (rem)**

**Região do corpo**

5

Corpo todo, gônadas, medula óssea

30

Ossos, pele e tireóide

75

## Efeito biológico da radiação

Escrito por Ederson Akio Kido, Laureen M. Houllou Kido, Luis Cesar M. S. Paulillo  
Ter, 01 de Fevereiro de 2011 13:35

---

Mãos, braços, pernas e pés

15

Demais partes do corpo

Estes limites foram revistos recentemente, porém nem todos os países (inclusive o Brasil) aplicam os novos limites, os quais são menores. Em nosso país, os limites estão fixados em norma estabelecida pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Para o pleno entendimento das quantificações empregadas na manipulação de material radioativo e em radioproteção, faz-se necessário observar as definições e unidades empregadas nas grandezas abaixo, bem como suas relações.

### Grandezas e unidades

□

**Grandeza**

□

**Atividade**

**A**

□

## Efeito biológico da radiação

Escrito por Ederson Akio Kido, Lauren M. Houllou Kido, Luis Cesar M. S. Paulillo  
Ter, 01 de Fevereiro de 2011 13:35

---

### Exposição

**X**

□

### Dose Absorvida

**D**

□

□

### Dose Equivalente

**H**

□

### Definição

Variação no n<sup>o</sup> desintegrações por intervalo de tempo

## Efeito biológico da radiação

Escrito por Ederson Akio Kido, Laureen M. Houllou Kido, Luis Cesar M. S. Paulillo  
Ter, 01 de Fevereiro de 2011 13:35

---

Ionização por unidade de massa de ar

Energia absorvida por unidade de massa

Energia absorvida por unidade de massa

**Aplicação**

Fontes

Ar

Matéria

Homem

## Efeito biológico da radiação

Escrito por Ederson Akio Kido, Laureen M. Houllou Kido, Luis Cesar M. S. Paulillo  
Ter, 01 de Fevereiro de 2011 13:35

---

**SI**

□

**Bq**

□

□

**C/kg**

□

**Gy**

**(J/kg)**

□

**Sv**

**(J/kg)**

## Efeito biológico da radiação

Escrito por Ederson Akio Kido, Laureen M. Houllou Kido, Luis Cesar M. S. Paulillo  
Ter, 01 de Fevereiro de 2011 13:35

---

**Unidade**

**Especial**

***Ci***

***R***

***Rad***

## Efeito biológico da radiação

Escrito por Ederson Akio Kido, Lauren M. Houllou Kido, Luis Cesar M. S. Paulillo  
Ter, 01 de Fevereiro de 2011 13:35

---

**Rem**

### 1) Atividade

A primeira unidade estabelecida para Atividade foi *Curie (Ci)*, definida como a taxa de desintegração de uma quantidade de gás Radônio ( $^{222}\text{Rn}$ ) em equilíbrio com um grama de Rádio ( $^{226}\text{Ra}$ ).

$^{222}\text{Rn}$

$^{226}\text{Ra}$ ).

$^{226}\text{Ra}$

Entretanto, o Sistema Internacional adota a unidade

*Becquerel*

(

*Bq*

).

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} \quad 1 \text{ Bq} = 1 \text{ dps (desintegração por segundo)}$$

### 2) Exposição X ou gama

Com a descoberta dos raios-X, surgiu a necessidade de se estabelecer uma unidade para este tipo de exposição, o que foi feito em termos de ionização do ar. Em 1928, foi adotado o *Roentgen (R)*,

como sendo a quantidade de radiação X que produzia uma unidade de carga eletrostática em um cm

$^{33}$

de ar (em CNTP). Posteriormente, essa ionização foi relacionado com a massa de ar contida neste volume. Essa exposição também serve para a radiação gama.

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C / kg}$$

A relação Atividade (A) e Exposição (X) para emissores gama segue a seguinte equação:

$$X = T.A / d^2 \quad (\text{R / h})$$

Sendo: T = constante específica para a radiação gama (depende do radioisótopo) em  $\text{R. m}^2 / \text{h. Ci}$

A = Atividade da fonte em Ci

## Efeito biológico da radiação

Escrito por Ederson Akio Kido, Laureen M. Houllou Kido, Luis Cesar M. S. Paulillo  
Ter, 01 de Fevereiro de 2011 13:35

---

$d$  = distância entre a fonte e o ponto considerado em  $m$

Observe que a dose de exposição é inversamente proporcional ao quadrado da distância. Portanto, a distância é um importante fator para minimizar a exposição durante uma manipulação.

### 3) Dose absorvida

Com o avanço dos conhecimentos sobre as radiações e suas aplicações, julgou-se conveniente expressá-los em termos de deposição de energia. Assim, adotou-se o *rad* como unidade de dose absorvida

$$1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gray (Gy)}$$

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} / 1 \text{ kg}$$

### 4) Dose equivalente

Para fins de radioproteção, o rad é uma unidade satisfatória para medição de raios-X , raios gama e elétrons, porque os danos biológicos são proporcionais à energia depositada, o que não acontece no caso de partículas fortemente ionizantes ( prótons, partículas alfa, etc). Para avaliar o efeito biológico de cada tipo de radiação foi estabelecido um fator de qualidade (Q) que converte a energia depositada (D, em *rad*) em uma dose equivalente (H, expressa em *rem* ). Outros fatores que afetariam a dose absorvida, como a geometria da fonte, a distribuição de um radioisótopo no organismo, entre outros, são considerados através de um fator de peso N, que na prática pode ser considerado como sendo 1.

$$\text{rem} = \text{rad} .Q.N$$

Esse fator Q, também conhecido como fator RBE (Eficácia Biológica Relativa), é específico para a radiação considerada, conforme tabela abaixo.

<b>Tipo de Radiação</b>
-------------------------

<b>Fator Q</b>
----------------

X, gama, beta
---------------

## Efeito biológico da radiação

Escrito por Ederson Akio Kido, Laureen M. Houllou Kido, Luis Cesar M. S. Paulillo  
Ter, 01 de Fevereiro de 2011 13:35

---

1

Neutrons rápidos

10

Neutrons lentos

4

Alfa

10

Fragmentos nucleares

20

### 5) Dose equivalente efetiva

Esta seria a soma dos produtos das doses absorvidas pelos respectivos valores de ponderação

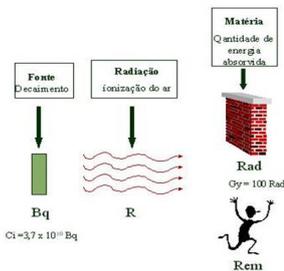
## Efeito biológico da radiação

Escrito por Ederson Akio Kido, Laureen M. Houllou Kido, Luis Cesar M. S. Paulillo  
Ter, 01 de Fevereiro de 2011 13:35

$w_t$ , o qual é o coeficiente de risco para um determinado órgão em relação ao risco total para o corpo humano (alguns valores encontram-se no rodapé da tabela para limites, anteriormente mostrada). Sua unidade é o *Sievert (Sv)*, sendo usualmente expressa em *mSv*.

$$1 \text{ rem} = 10 \text{ mSv} \quad \text{ou} \quad 1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

Portanto, exposição e doses (absorvida ou equivalente) dizem respeito à quantidade de energia em relação a quantidade de massa. No primeiro caso, é energia de ionização para formação de pares de íons e no segundo caso, é energia absorvida pela matéria, sendo que a dose equivalente considera as diferentes radiações, principalmente em relação a capacidade de provocar danos biológicos. Isto pode ser facilmente visualizado na figura abaixo.



### Bibliografia Consultada:

- CNEN, Diretrizes Básicas de Radioproteção. Norma NE-3.01. 1988.
- CNEN, Serviços de Radioproteção. Norma NE-3.02. 1988.
- CNEN, Gerência de Rejeitos Radioativos em Instalações Radiativas. Norma NE-3.05. 1985.
- IAEA, Safe Handling of Radionuclides, 91p. 1973.
- Lamm, C. G. Proteção Radiológica e Segurança em Trabalhos com Radiações Ionizantes. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP - CNEN. Piracicaba - SP, 51 p. 1972.
- Phipps, A. W.; Kendall, G. W.; Stather, J. W.; Fell, T. P. Committed Equivalent Organ Doses and Committed Effective Doses from Intakes of Radionuclides. National Radiological Protection Board of UK. 245p. 1991.
- Xavier, A. M.; Wieland, P.; Heibron - Filho, P. F. L.; Ferreira, R. de S. Programa de Gerência de Rejeitos Radioativos em Pesquisa. Comissão Nacional de Energia Nuclear, 82 p. 1998.

Ederson Akio Kido - Professor Adjunto, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)  
Laureen M. Houllou Kido - Doutor, Pesquisador do Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste, Recife-PE  
Luis Cesar M. S. Paulillo - Professor Doutor, Faculdade de Tecnologia e Ciências (FTC-SSA), Mestrado Profissional em Alternativas Energéticas Aplicáveis à Bioenergia, [lpaulillo.ssa@ftc.br](mailto:lpaulillo.ssa@ftc.br)