



**ALBERT EINSTEIN**  
HOSPITAL ISRAELITA

## Diretrizes Assistenciais

### Radiação Ionizante nos Estudos Radiológicos

---

Versão eletrônica atualizada em  
Julho - 2009

## **Comitê sobre Radiação Ionizante (ComRadl)**

**Dr. Fernando Uliana Kay; Dra. Hye Ju Lee; Dr. Adriano Tachibana; Márcia Carvalho Silva (Física); Elaine Ferreira da Silva (Biomédica); Dr. João Radvany; Dr. Mauro Miguel Daniel; Dr. Marcelo Buarque de Gusmão Funari**

### **Preâmbulo**

A partir da crescente preocupação sobre os efeitos indesejados da radiação ionizante que é utilizada em algumas das modalidades de Imagem Médica, e após deliberações extra-oficiais a respeito do assunto, foi criada o Comitê sobre Radiação Ionizante (ComRadl) dentro do Departamento de Imagem do Hospital Israelita Albert Einstein (maio de 2009). A missão desta Comissão é a de assegurar aos nossos clientes excelência de qualidade nos Exames de Imagem, assegurando a menor exposição necessária à Radiação Ionizante. Isto se baseia nos valores Institucionais e na visão de liderar e inovar a assistência médico-hospitalar, mantendo o compromisso ético com a integridade da saúde dos nossos clientes.

## Introdução

A radiação ionizante tem sido utilizada há mais de um século com fins diagnósticos, e neste período de uso, os benefícios trazidos têm sido muito superiores aos riscos observados. Entretanto, nas últimas décadas, houve um aumento progressivo na disponibilidade e utilização dos novos métodos diagnósticos, como tomógrafos multislice e exames de medicina nuclear (cintilografia, PET, PET-CT), além dos métodos tradicionais de Radiologia Convencional (radiografias), resultando em um significativo aumento na exposição cumulativa à radiação ionizante. Muitos questionamentos têm sido levantados, procurando desvendar se o aumento da exposição cumulativa à radiação incorrerá também no crescimento da incidência de câncer em um futuro próximo. Os modelos de exposição, baseados nos bombardeios atômicos de Hiroshima e Nagasaki, indicam que sim, porém torna-se difícil uma real determinação da magnitude destes efeitos quando a radiação incide em acréscimos probabilísticos de um desfecho negativo. Desta forma, torna-se necessária a normatização contínua dos processos de utilização diagnóstica da radiação ionizante, de modo a manter relação risco / benefício dentro de limites aceitáveis. Entende-se benefício a relação ideal entre detecção de anormalidades e resolução do método, este, em última análise, podendo depender da dose de radiação.

## **Radiação Ionizante**

A radiação ionizante consiste de energia transmitida sob a forma de ondas eletromagnéticas ou partículas subatômicas capazes de ionizar átomos ou moléculas através da exclusão de alguns dos seus elétrons orbitários. A ocorrência de ionização depende da energia transmitida através destas ondas. A ionização das moléculas determina alterações estruturais que podem causar danos permanentes às células. Um dos efeitos é a apoptose celular, geralmente observada nas exposições de alta energia existentes no campo de radioterapia. Outro efeito indesejado é observado em níveis de energia utilizados nos estudos radiológicos: as mutações. Estas alterações estruturais na molécula de DNA nuclear incorrem em distúrbios do funcionamento celular, como o ciclo de divisão celular. Este é o processo que pode culminar no desenvolvimento de neoplasias.

## **Fontes de Radiação Ionizante no Diagnóstico por Imagem**

Os tubos de raios X presentes nos radiógrafos e tomógrafos são fontes de radiação ionizante, bem como os radiofármacos, que podem emitir radiação gama e algumas partículas ionizantes. Exames radiológicos como a Ressonância Magnética e a Ultrassonografia não utilizam radiação ionizante, e por isso, devem ser preferidos sempre que possível.

A radiação proveniente dos estudos radiológicos convencionais apresentam maior espalhamento, podendo irradiar diversas regiões do corpo, bem como profissionais e acompanhantes que estejam dentro da sala de exame. Por isso, mecanismos de barreira (aventais de chumbo) são utilizados sempre que

possível, para minimizar a exposição desnecessária à radiação. Os estudos que envolvem a utilização de fluoroscopia (exames dinâmicos, como o videodeglutograma, EED, etc.) também envolvem maior dose de radiação, e por isso devem ser precisamente indicados, respeitando-se os tempos máximos de exposição.

Os estudos tomográficos envolvem maior quantidade de radiação, porém limitada apenas a uma região anatômica (colimação). A quantidade de radiação está diretamente relacionada ao tipo de exame realizado e aos protocolos de controle de dose utilizados, cabendo ao médico radiologista adequar o exame ao paciente e à questão clínica proposta.

### **Efeitos Determinísticos da Radiação Ionizante no Organismo**

Os efeitos determinísticos decorrentes da radiação ionizante dependem da quantidade de dose absorvida, ocorrendo após um limiar conhecido.

| <b>Threshold for deterministic effects (Sv)</b> |                           |                            |                              |
|---|---------------------------|----------------------------|------------------------------|
|   | Effects                   | One single absorption (Sv) | Prolong absorption (Sv-year) |
| testis  | permanent infertility     | 3.5 - 6.0                  | 2                            |
| ovary   | permanent infertility     | 2.5 - 6.0                  | > 0.2                        |
| Lens of eyes                                    | milky of lens<br>cataract | 0.5 - 2.0<br>5.0           | > 0.1<br>> 0.15              |
| Bone marrow                                     | Blood forming deficiency  | 0.5                        | > 0.4                        |

(Source : 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP Publication No. 60))

## Efeitos Estocásticos da Radiação Ionizante no Organismo e Modelos de Exposição

A severidade dos efeitos estocásticos não depende da dose absorvida, e baseiam-se em modelos matemáticos de probabilidade. Quanto maior a dose absorvida, maior seria a probabilidade de ocorrência dos efeitos. Diferentemente dos efeitos determinísticos, não haveria limiar de dose a partir do qual eles possam ocorrer. São exemplos de efeitos estocásticos o câncer e os defeitos genéticos induzidos pela radiação ionizante.

### Doses de Radiação

Existem diversas formas de quantificar a radiação ionizante. A **exposição à radiação** é a medida do número de ions produzidos no ar pelos fótons de raio-X, sendo sua unidade em Coulombs por Quilo (C/kg). Tal medida é de pequena utilidade clínica, uma vez que não leva em consideração a área irradiada, o poder de penetração da radiação e a sensibilidade à radiação do órgão irradiado.

Uma medida mais útil é a **dose de radiação absorvida**, determinada pela mensuração da energia absorvida por unidade de massa do objeto irradiado (unidade Gray - Gy). Tal medida depende da composição do objeto em estudo, porém não leva em consideração a diferença de sensibilidade à radiação dos diferentes órgãos irradiados, não permitindo estimar de forma adequada os riscos inerentes à radiação.

A **dose de radiação efetiva** (unidade Sievert - Sv ou miliSievert - mSv) consiste na associação da dose de radiação absorvida com a sensibilidade do

órgão à radiação, sendo este parâmetro capaz de estimar o efeito biológico atribuível à radiação (1,2).

Todos estamos expostos a radiação proveniente de fontes naturais do ambiente. Nos Estados Unidos, a dose efetiva de radiação que um indivíduo recebe de fontes naturais é de, em média, 3mSv ao ano.

Na tabela abaixo destacamos a dose efetiva de radiação de alguns dos principais métodos de imagem (3,4).



| EXAME  | DOSE EFETIVA                  | COMPARAÇÃO COM A DOSE EFETIVA RECEBIDA DE FONTES NATURAIS DE RADIAÇÃO |
|--|-------------------------------|---|
| Radiografia de tórax (PA)                    | 0,02mSv                       | 2,4 dias  |
| Radiografia do crânio                        | 0,07mSv                       | 8,5 dias  |
| Radiografina da coluna lombar                | 1,3mSv                        | 158 dias  |
| Radiografia de extremidades                  | 0,001 mSv                     | < 1 dia   |
| Urografia Excretora                          | 1,6 mSv                       | 6 meses   |
| Uretrocistografia Miccional                  | 5-10 anos: 1,6 mSv            | 6 meses   |
|  | Crianças >10 anos:<br>0,8 mSv | 3 meses   |
| Exame do trato GI superior                   | 3,0mSV                        | 1 ano   |
| Enema opaco                                  | 7,0                           | 2,3 anos  |
| Tomografia Computadorizada do Crânio         | 2,0mSv                        | 8 meses   |
| Tomografia Computadorizada dos seios da face | 0,6 mSv                       | 2 meses   |
| Score de Cálcio                              | 2 mSv                         | 8 meses   |
| Tomografia Computadorizada do Tórax          | 8 mSv                         | 3 anos  |
| Tomografia Computadorizada do Abdomen        | 10 mSv                        | 3,3 anos  |
| Mammografia                                  | 0,7 mSv                       | 3 meses   |



## Princípio ALARA

O Comitê Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) recomenda a utilização de um sistema de limitação de dose com base em dois principais pilares: justificar e otimizar.

“Justificar” significa que, independentemente do exame proposto, sempre deverá haver embasamento suficiente que permita transparecer o potencial benefício em relação aos possíveis riscos.

“Otimizar” pode ser resumido no princípio de ALARA (*as low as reasonably achievable* – radiação mais baixa possível). Isto significa que a exposição à radiação deve ser reduzida à mínima dose possível, tendo em vista os custos desta redução sobre a qualidade diagnóstica do exame.

Ambos os pilares baseam-se na premissa de que a radiação afeta os sistemas biológicos de maneira linear, sem limite a partir do qual poderemos observar seus efeitos.

## Populações de Risco

### Gestantes

A especial preocupação na realização de exames de imagem que utilizam radiação ionizante em pacientes gestantes reside nos riscos potenciais a que o feto está exposto.

Os principais efeitos da radiação ionizante no feto estão relacionadas a teratogênese e a carcinogênese.

### *Teratogênese*

Os efeitos teratogênicos dependem do período gestacional e da dose de radiação a que o feto é exposto.

| <b>Período Gestacional</b>    | <b>Possíveis Efeitos</b>   |
|-------------------------------|--|
| 0-2 semanas (Pré-implantação) | Morte embrionária ou nenhum efeito   |
| 2-8 semanas (Organogênese)    | Malformações Congênicas (esqueleto, olhos, genitais)<br>Retardo de Crescimento |
| 8-15 semanas                  | Retardo Mental (Alto Risco)<br>Déficit Intelectual<br>Microcefalia             |
| 16-25 semanas                 | Retardo Mental (Baixo Risco)   |

**Tabela 1** – Efeitos teratogênicos da radiação ionizante de acordo com a idade gestacional. Modificado da Referência 1.

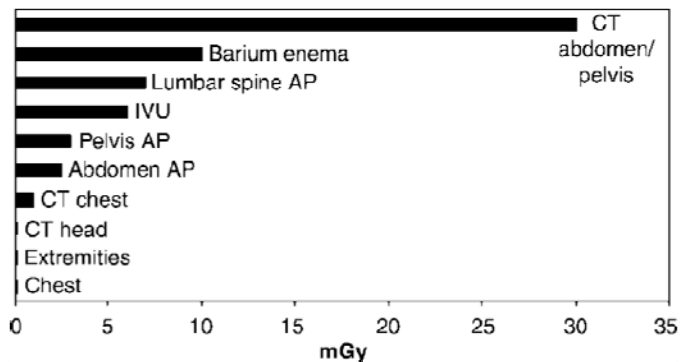
A dose de radiação a que o feto é exposto na maior parte dos exames de imagem que envolvem radiação ionizante durante a gestação é inferior a 0,05Gy, sendo a dose de radiação que comprovadamente aumenta o risco de malformações fetais superior a 0,15Gy(1).

### *Carcinogênese*

Alguns estudos apontam para um aumento no risco de câncer na infância em pacientes expostos a radiação na vida intrauterina, sendo ainda este risco diretamente proporcional à dose da radiação (2).

Embora as doses de radiação que comprovadamente aumentam o risco de malformações fetais sejam superiores à dose estimada de radiação que é absorvida pelo feto em exames de Tomografia Computadorizada realizados durante a gestação, a radiação ionizante é um fator potencialmente teratogênico; além disso, estudos indicam um maior risco potencial de se desenvolver câncer na infância, em crianças submetidas a exames de Tomografia Computadorizada durante a vida intrauterina. Diante desses fatos, é recomendado que possíveis gestações sejam confirmadas em mulheres em idade reprodutiva antes da realização de exames de Tomografia Computadorizada e que o melhor método de imagem seja escolhido levando-se em conta os riscos potenciais e os benefícios que o método poderá trazer em cada situação clínica.

Os exames de Tomografia Computadorizada que não abrangem a região abdominal (por exemplo do crânio, da coluna cervical, dos membros, ou até mesmo do tórax) resultam em uma baixa dose estimada de radiação absorvida pelo feto, sendo baixa a probabilidade de causar danos ao desenvolvimento fetal. Já os exames de Tomografia Computadorizada do abdome e/ou da pelve, por submeterem o feto a uma maior dose estimada de radiação, poderiam gerar um maior risco potencial de complicações. Recomenda-se, nestas circunstâncias, que se possível a Tomografia Computadorizada seja substituída por métodos que não utilizem radiação ionizante, como a Ultrassonografia e a Ressonância Magnética. Caso a utilização do método seja imprescindível, preconiza-se uma dose baixa de radiação na execução do exame (1).



**Figura 1** – Comparação da dose média estimada de absorção fetal de radiação entre diversos métodos radiográficos e de Tomografia Computadorizada. AP= anteroposterior, IVU = intravenous urography (urografia excretora). Referência 1

**Figure 1.** Comparison of the estimated mean fetal absorbed dose from various radiographic and computed tomographic (CT) procedures (3,10–12). Fetal absorbed doses from head CT, extremity radiography (excluding the hip and pelvis), and chest radiography are less than 0.1 mGy. AP = anteroposterior, IVU = intravenous urography.

## Crianças

Existem evidências que indicam um aumento no risco de câncer em indivíduos expostos a altas doses de radiação. A Tomografia Computadorizada é um método que expõe o indivíduo a baixas doses de radiação. Estudos recentes apontam para um aparente aumento potencial no risco de câncer relacionado a baixas doses de radiação, embora este risco seja pequeno, sendo diretamente proporcional a dose de radiação absorvida pelos órgãos e tecidos.

O risco potencial de câncer relacionado a exposição à radiação é duas a três vezes maior nas crianças que nos adultos, sendo este fato decorrente de alguns fatores (1,2):

- Órgãos e tecidos em crescimento e desenvolvimento são mais sensíveis aos efeitos da radiação que aqueles que já estão maduros;
- O efeito oncogênico da radiação pode apresentar um longo período de latência (até décadas). Portanto, como as crianças têm maior expectativa de vida quando comparadas aos adultos, terão maior chance de manifestar o câncer induzido pela radiação ao longo de suas vidas;
- Ao se utilizar os mesmos parâmetros do adulto na realização de um determinado exame de Tomografia Computadorizada, a criança receberá uma dose relativamente maior de radiação que o adulto.

Diante dessas constatações, recomenda-se que métodos de imagem que não exponham ou exponham a uma menor dose de radiação ionizante sejam preferenciais nessa faixa etária e, quando indicada a realização da Tomografia Computadorizada, preconiza-se o ajuste dos parâmetros do exame, através de protocolos específicos para este grupo etário, com o objetivo de utilizar a mínima dose de radiação suficiente para que se obtenha um exame com a informação diagnóstica necessária.

## Medidas Preventivas

### **1) Adequar todos os protocolos aos níveis preconizados pelas instituições regulamentadoras (nacionais e internacionais).**

Todos os estudos são planejados para que a radiação absorvida estimada esteja dentro dos limites estabelecidos.

Como controle de qualidade, 10% dos exames de tomografia computadorizada serão monitorados para certificar a eficácia dos protocolos estabelecidos em manter o nível de radiação recomendado para cada exame.

### **2) Protocolos de baixa dose para populações de risco.**

A menor dose de radiação possível é aplicada em pacientes da população de risco.

Na radiologia convencional, já são utilizados protocolos específicos para crianças, com o menor número de exposições possível para se obter o diagnóstico necessário.

Em tomografia computadorizada, já são utilizados protocolos pediátricos, com menor radiação, sendo mais permissivo com a quantidade de ruído na imagem.

Os aparelhos estão programados para realizar ajuste automatizado para o tamanho do paciente.

Deve-se sempre ter em mente que a população jovem tem mais chance de realizar outros exames baseados em radiação ionizante durante sua vida, que se acredita terem efeito cumulativo.

O Comitê sobre Radiação Ionizante (ComRadI) tem como missão manter os protocolos atualizados e adequados com especial atenção à população de

risco, além de realizar educação contínua para médicos radiologistas, técnicos e biomédicos para conscientização dos riscos da utilização da radiação ionizante.

**3) Revisar de critérios de indicação de exame e execução dos exames, de modo a reduzir exposições (ALARA).**

Rotinas adicionais devem ser estabelecidas, para se certificar que o nível de radiação permaneça dentro dos limites aceitáveis, não somente para cada exame, mas também para cada paciente:

- exames de controle evolutivo recente devem ser realizados com a mínima dose possível, apenas suficiente para que a informação necessária seja obtida (como por exemplo, o tamanho de uma coleção ou a localização de um cálculo ureteral);
- reduzir o número de fases em um estudo tomográfico (realizar apenas a fase necessária, podendo-se prescindir inclusive da fase pré-contraste);
- utilizar protocolo de baixa dose de radiação na fase pré-contraste e nas eventuais repetições de fases que por ventura sejam necessárias.
- Monitorização do número de exames realizados pelos pacientes.

**4) Conscientizar sobre a adoção de medidas de proteção radiológica adequada para pacientes, acompanhantes e profissionais de saúde envolvidos na execução de exames radiológicos.**

**5) Compartilhar os princípios de utilização justificada e otimizada da radiação ionizante com Corpo Clínico através de documentos específicos.**

## APÊNDICE I

### O Que Dizer aos Seus Pacientes?

Muitos estudos têm demonstrado a incerteza associada à mensuração da dose efetiva e a inferência do efeito da dose sobre o risco de câncer. Além disso, o uso de valores numéricos na argumentação com os pacientes sobre o risco radiológico deve ser desencorajado. Quantificações operacionais e doses efetivas deveriam ser utilizadas somente por profissionais na otimização da qualidade de imagem em relação ao risco. Cautela deve ser exercida. Com relação à informar os pacientes sobre o risco associado ao procedimento radiológico, muitos grupos propuseram simplesmente utilizar categorias que pudessem refletir a incerteza associada ao conhecimento atual e a prevalência natural de câncer. A tabela abaixo resume as categorias propostas. Para auxiliar na compreensão dos riscos mencionados na tabela, valeria a pena compará-los à dose efetiva recebida pela população geral (3-4 mSv/ano) ou com algumas atividades da vida cotidiana que são consideradas aceitáveis. Por exemplo, o risco de morte associado a um voo de cerca de 7200 km cai na categoria de “risco mínimo” ( $\sim 4 \times 10^{-6}$ ), enquanto o risco de morte associado à um percurso de 3200 km no automóvel cai na categoria “muito baixa” ( $\sim 3 \times 10^{-5}$ ).

| Effective Dose (mSv) | Risk       | Quantification           | Examination  |
|----------------------|------------|--------------------------|--|
| <0.1                 | $<10^{-6}$ | Negligible               | Radiography of the chest (postero-anterior), extremities, or teeth |
| 0.1–1.0              | $10^{-5}$  | Minimal or extremely low | Abdomen, lumbar spine  |
| 1.0–10               | $10^{-4}$  | Very low                 | CT of the brain, chest, or abdomen                                 |
| 10–100               | $10^{-3}$  | Low                      | Multiphase CT  |
| >100                 | $>10^{-2}$ | Moderate                 | Interventional procedures,* repeat CT                              |



### Referências:

1. Radiation Dose Issues in Longitudinal Studies Involving Computed Tomography. Mayo, JR - *The Proceedings of the American Thoracic Society* 2008, 5:934-939.
2. Strategies for reducing radiation dose in CT. *Radiol Clin North Am* 2009 Jan;47(1):27-40.
3. <http://www.fda.gov/cdrh/ct/risks.html>
4. <http://www.radiologyinfo.org/en/safety/index.cfm>

### Referências

1. Imaging the Pregnant Patient for Nonobstetric Conditions: Algorithms and Radiation Dose Considerations. Patel, JS; Reede, DL, Katz, DS; Subramaniam, R; Amorosa, JK - *RadioGraphics* 2007; 27:1705–1722.
2. Risk of childhood cancer from fetal irradiation. Doll, R; Wakeford, R – *Br J Radiol* 1997; 70:130-139.

### Referências

1. Radiation Risk to Children From Computed Tomography. Brody, AS; Frush, DP; Huda, W; Brent, RL and the Section on Radiology - *Pediatrics*, 2007;120;677-682.
2. Strategies for Reducing Radiation Dose in CT. McCollough, CH; Primak, AN; Braun, N; Kofler, J; Yu, L; Christner, J - *Radiologic Clinics of North America* - January 2009; 47:1, 27-40.