

# Efeitos Precoces e Tardios da Radiação

Prof. Sanjay Arya



# Efeitos Genéticos e Somáticos

- **Efeitos Genéticos:**

- **Descrição:** A radiação afeta o esperma ou o óvulo, potencialmente alterando o DNA passado para futuras gerações.
- **Impacto:** Pode levar a doenças hereditárias e mutações nas futuras gerações.
- **Consideração:** Não é uma preocupação para indivíduos que não são reprodutivamente ativos.

- **Efeitos Somáticos:**

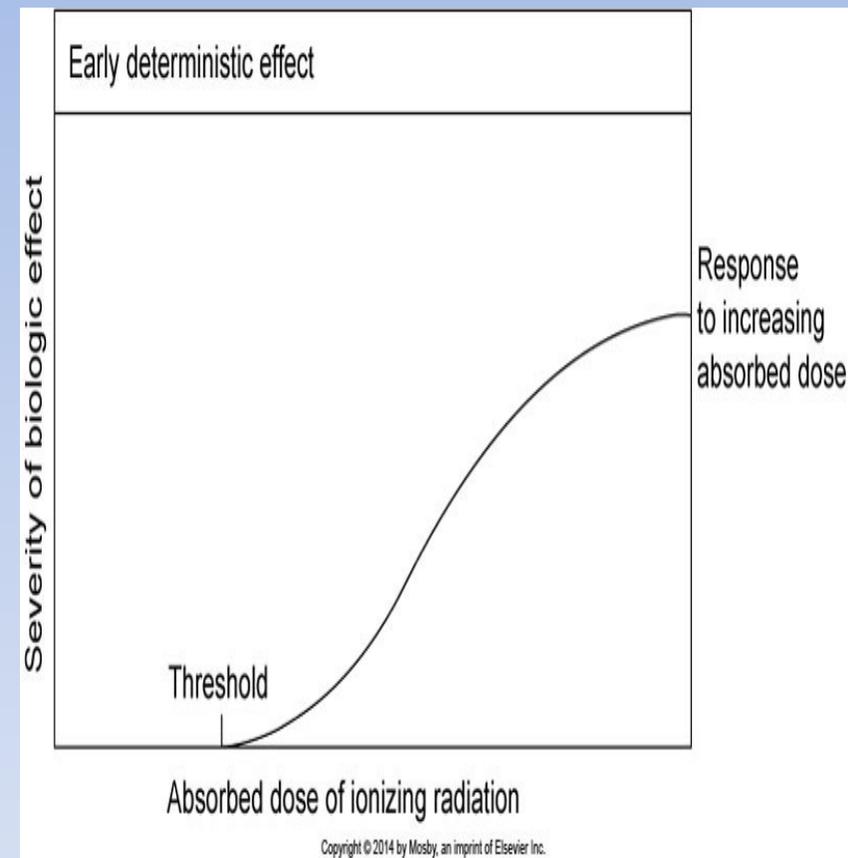
- **Descrição:** Danos diretos às células do corpo, afetando apenas a pessoa que recebeu a dose de radiação.
- **Impacto:** Inclui queimaduras na pele, doença de radiação e aumento do risco de câncer.
  - **Exemplo:** Eritema cutâneo devido a procedimentos fluoroscópicos repetidos.

# Tipos de Efeitos da Radiação

- **Efeitos Determinísticos (Não Estocásticos):**
  - **Características:** Diretamente relacionados à dose e frequentemente aparecem rapidamente. Requerem uma dose limiar para aparecer.
  - **Exemplos:** Eritema cutâneo (vermelhidão), doença de radiação.
  - **Importância:** Compreender os níveis de limiar ajuda a minimizar o risco de sobre-exposição.
- **Efeitos Estocásticos (Probabilísticos):**
  - **Características:** Ocorrência aleatória, sem dose limiar; a probabilidade aumenta com a exposição.
  - **Exemplos:** Câncer, mutações genéticas.
  - **Importância:** Mesmo doses baixas ao longo do tempo podem aumentar a probabilidade desses efeitos.

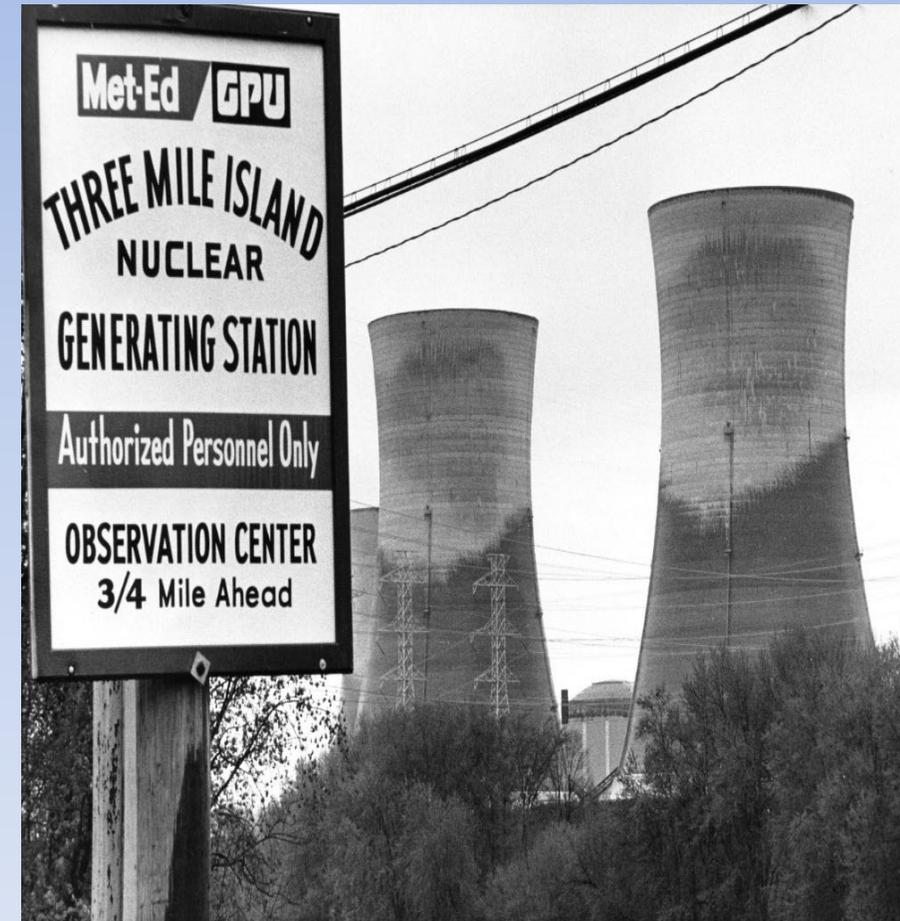
# Explicação dos Efeitos Determinísticos

- **Definição:** Os efeitos imediatos aparecem com doses altas pouco tempo após a exposição (geralmente em menos de 60 dias).
  - **Também chamado de:** efeitos precoces, agudos ou imediatos.
- **Características:**
  - **Dose Limiar:** Dose mínima necessária para que o efeito ocorra.
  - **Resposta à Dose:** A gravidade do efeito aumenta com a dose.
  - Segue uma relação dose-resposta do tipo Limite Não Linear (NLT).
- **Relevância Médica:** A fluoroscopia de alta dose e a exposição prolongada podem resultar em lesões na pele e nos tecidos.
- **Exemplo:** Eritema cutâneo ou perda de cabelo devido a procedimentos fluoroscópicos de alta dose.



# Síndrome Aguda da Radiação (SAR)

- **Visão Geral:** também chamado de "Síndrome da Radiação"
  - A ARS é causada por uma dose muito alta de exposição corporal total em um curto período.
- **Relação Dose-Resposta:** Limite Não Linear (NLT)
- **Estágios da ARS:**
  - **Estágio Prodrômico:** Sintomas iniciais (náusea, vômito, diarreia).
  - **Estágio Latente:** Período sem sintomas, enquanto os danos se desenvolvem internamente.
  - **Doença Manifesta:** Sintomas graves dependendo da dose (distúrbios sanguíneos, problemas gastrointestinais).
  - **Recuperação ou Morte:** Resultado baseado na gravidade da exposição.
- **Exemplos:**
  - Sobreviventes das bombas de Hiroshima e Nagasaki, vítimas do desastre nuclear de Chernobyl.



# Dano Local ao Tecido

- **Definição:** Danos restritos a um tecido específico ou área de órgão exposta a radiação de alta dose em uma parte localizada do corpo em um curto período.
- **Fatores que Afetam os Danos:**
  - **Radio-sensibilidade:** Células que se dividem rapidamente são mais sensíveis.
  - **Taxa de Proliferação:** Células de divisão mais rápida (ex.: pele, cabelo) são mais afetadas.
  - **Taxa de Maturação:** Células jovens em desenvolvimento são mais suscetíveis.
- **Resultados Potenciais:**
  - Atrofia (redução do tecido), necrose ou recuperação, dependendo da dose e do tipo de tecido.
- **Exemplo:** Dermatite por radiação, perda de cabelo.

# Danos à Pele e ao Cabelo (Dano Local ao Tecido)

- **Estágios de Dano à Pele:**

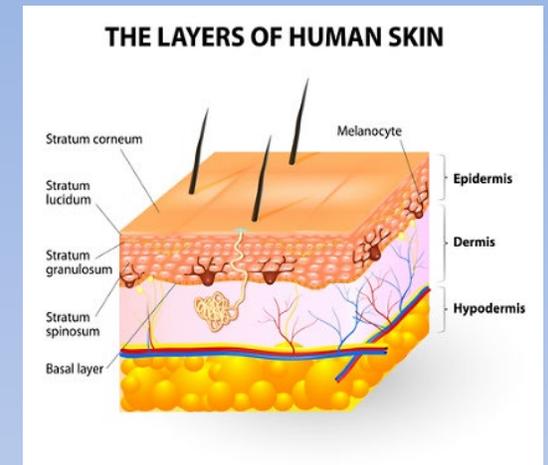
- **Eritema:** Vermelhidão semelhante a uma queimadura solar, aparece em doses acima de 2 Gy (200 rad).
- **Descamação:** Descamação da pele (inicialmente úmida, torna-se seca).
- **Radiodermatite:** Condição crônica de pele resultante de exposição repetida.

- **Epilação (Perda de Cabelo ou Alopecia):**

- **Dose Moderada:** Causa perda de cabelo temporária.
- **Dose Alta:** Perda de cabelo permanente pode ocorrer, tipicamente por fluoroscopia de alta dose.

- **Nota para Operadores:** O monitoramento cuidadoso da exposição é essencial para evitar que esses níveis de dose sejam atingidos nos pacientes.

Eritema



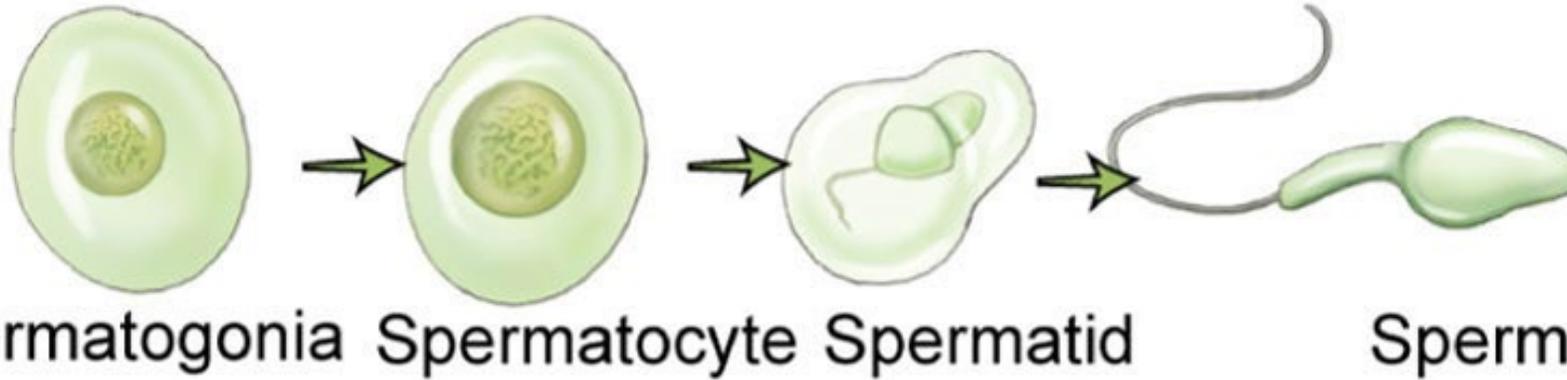
Descamação



Radiodermatite

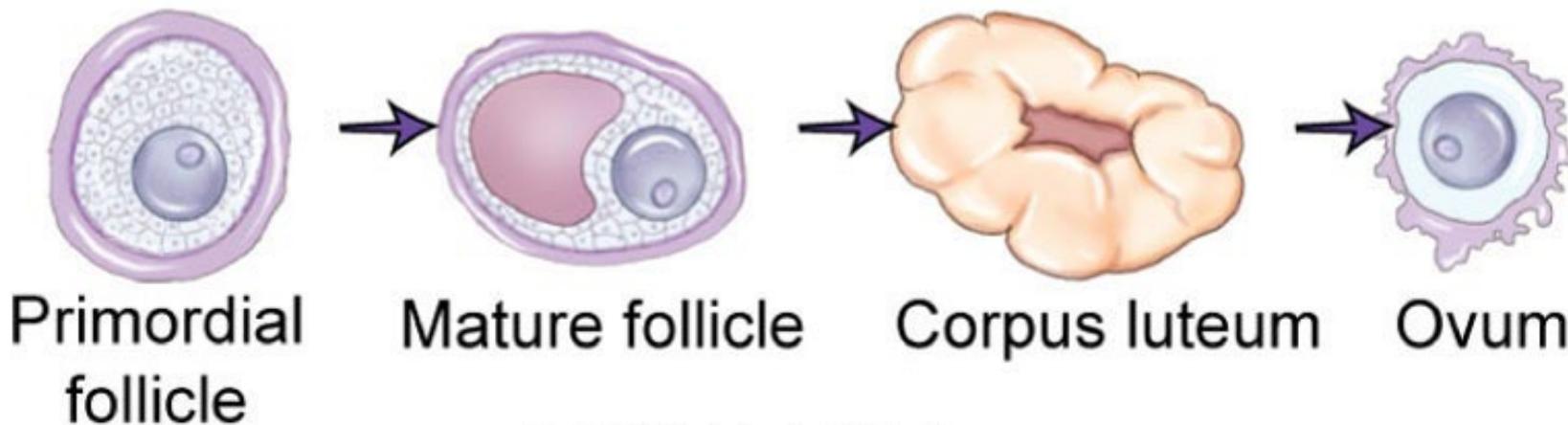
# Desenvolvimento das Células Germinativas Masculinas e Femininas

## Male:



\* espermatogónia =  
mais radiosensível

## Female:



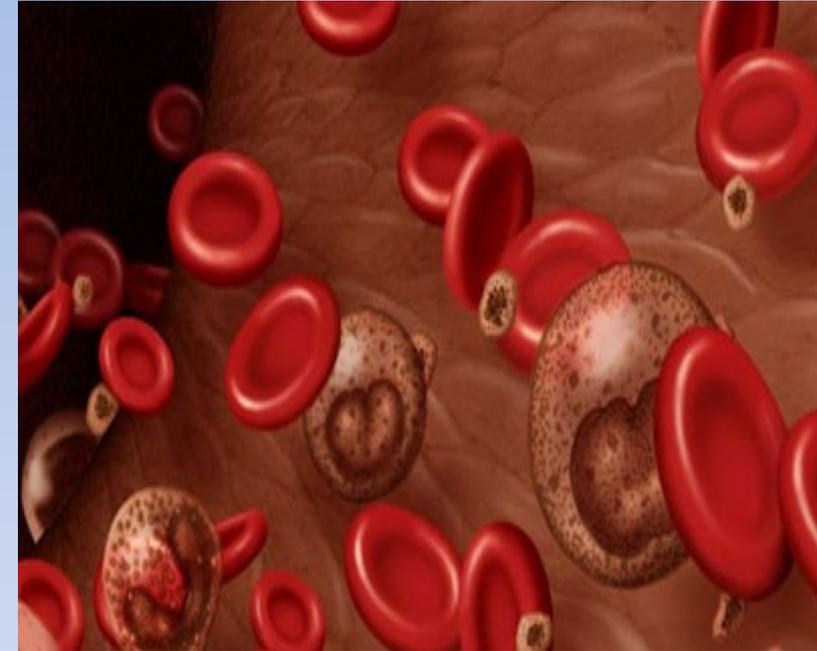
\* ovócitos = mais  
radiossensíveis

# Efeitos no Sistema Reprodutor

- **Sensibilidade Feminina (Ovariana):**
  - 10 rad (0,1 Gy): Atraso na menstruação.
  - 200 rad (2 Gy): Causa infertilidade temporária.
  - 500 rad (5 Gy): Resulta em infertilidade permanente.
- **Sensibilidade Masculina (Testicular):**
  - 10 rad (0,1 Gy): Reduz a contagem de espermatozoides.
  - 200 rad (2 Gy): Infertilidade temporária.
  - 500 rad (5 Gy): Infertilidade permanente.
- **Ponto-chave:** Os órgãos reprodutivos são altamente sensíveis; a exposição pode levar a problemas de fertilidade a longo prazo.

# Efeitos Hematológicos (Células Sanguíneas)

- **Tipos de Células Sanguíneas e sua Sensibilidade:**
  - **Linfócitos:** Mais sensíveis, essenciais para a imunidade; diminuem a 0,1 Gy.
  - **Granulócitos:** Parte da resposta imune, menos sensíveis que os linfócitos.
  - **Trombócitos (Plaquetas):** Importantes para a coagulação; afetados acima de 0,5 Gy.
  - **Eritrócitos (Glóbulos Vermelhos):** Menos radiosensíveis, principalmente afetados em doses mais altas.
- **Implicações para a Saúde:** A redução das contagens de células sanguíneas enfraquece a imunidade e aumenta os riscos de infecções ou sangramentos.



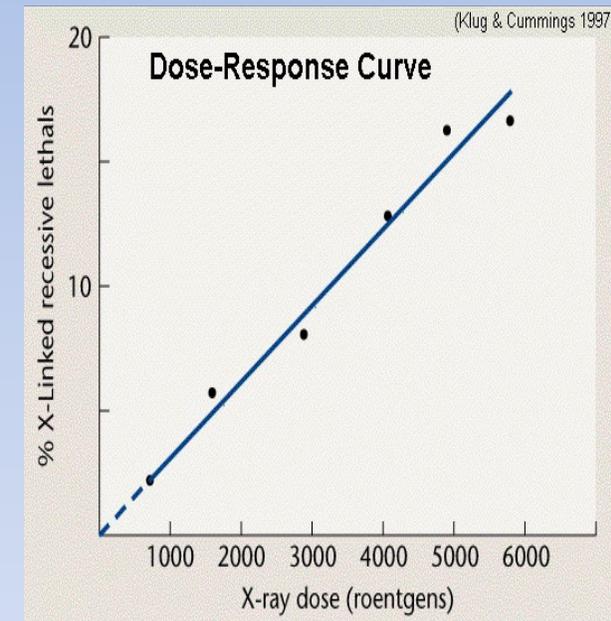
# Efeitos Estocásticos (Efeitos a Longo Prazo)

- **Características:**

- Também chamado de efeitos tardios, atrasados, latentes ou probabilísticos
- Causados por radiação de baixa dose ao longo de um longo período de tempo
- Aparecem mais tarde na vida, após 60 dias de exposição à radiação
- Sem limiar de dose, o que significa que até pequenas doses podem aumentar a chance de efeitos ao longo do tempo
- Segue a relação dose-resposta Linear Sem Limiar (LNT)
  - **Período de Latência:** Os efeitos podem aparecer anos após a exposição.

- **Tipos:**

- **Efeitos Somáticos Tardios:** Incluem danos aos tecidos, cataratas e redução da expectativa de vida.
- **Efeitos Genéticos:** Mutações no DNA transmitidas aos descendentes, possivelmente causando defeitos de nascença.
- **Relevância na Radiologia:** Doses baixas acumuladas representam um risco ao longo da carreira de um operador, enfatizando a importância de proteção consistente.

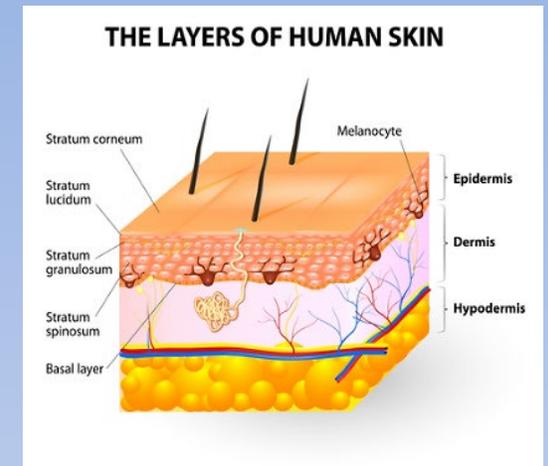


# Danos à Pele Efeitos Estocásticos (Efeitos a Longo Prazo)

- **Estágios de Dano à Pele:**

- **Eritema:** Vermelhidão semelhante a uma queimadura solar, aparece em doses acima de 2 Gy (200 rad).
- **Descamação:** Descamação da pele (inicialmente úmida, torna-se seca).
- **Radiodermatite:** Condição crônica de pele resultante de exposição repetida.

Eritema



Descamação



Radiodermatite

# Malignidades Específicas Induzidas por Radiação Efeitos Estocásticos (Efeitos a Longo Prazo)

- **Leucemia:**

- Modelo Linear Sem Limiar; período de latência de 4-7 anos.
- Observada em sobreviventes de bombas atômicas e pacientes tratados com altas doses de radiação.

- **Outros Tipos de Câncer:**

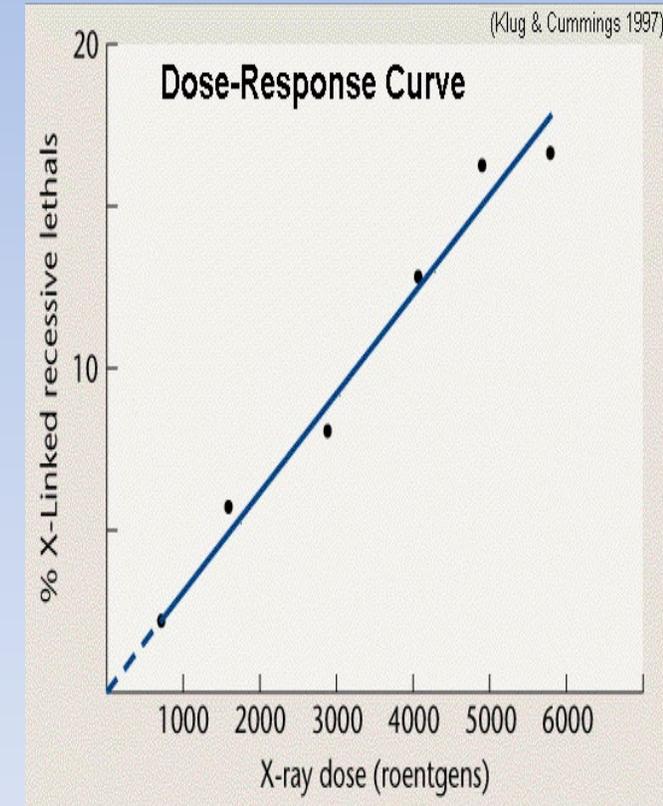
- **Câncer de Tireoide:** Observado em sobreviventes de bombas atômicas.
- **Câncer Ósseo:** Observado em pintores de mostradores de relógios com rádio.
- **Câncer de Pulmão:** Afeta mineiros de urânio devido à exposição ao gás radônio.
- **Câncer de Fígado:** Pacientes expostos a agentes de contraste com Dióxido de Tório ( $\text{ThO}_2$ ).

- **Importância:** Cânceres induzidos por radiação têm períodos de latência variados e afetam múltiplos órgãos.

# Malignidades Específicas Induzidas por Radiação



Allen CW. *Radiotherapy and phototherapy including radium and high frequency currents*, New York, 1904, Lea Brothers



# Radiação e Gravidez

- **Período de Gestação:** período entre o momento da concepção e o nascimento em humanos
- **Efeitos na Fertilidade:**
  - Exposições de baixa dose geralmente não afetam a fertilidade.
  - Doses altas podem reduzir a fertilidade e causar esterilidade.
- **Estágios Intrauterinos:**
  - **Pré-implantação (0-2 semanas após a concepção no primeiro trimestre):** O óvulo fertilizado se divide e forma uma estrutura esférica chamada "embrião" contendo células indiferenciadas.
    - Doses altas podem resultar na morte embrionária.
  - **Organogénese (2-10 semanas após a concepção no primeiro trimestre):** Durante este período, as células indiferenciadas do embrião começam a desenvolver-se em órgãos.
    - Maior risco de anomalias congénitas.
  - **Estágio Fetal (2º/3º trimestres):** Menor sensibilidade, mas ainda em risco de distúrbios funcionais.
- **Nota:** Devem ser tomadas precauções especiais para pacientes grávidas.

O primeiro trimestre é o período mais radiosensível, ou seja, os efeitos da radiação são mais severos.

# Efeitos Genéticos nas Futuras Gerações

- **Mecanismo:** A radiação pode causar mutações no DNA em espermatozoides ou óvulos, levando a doenças hereditárias.
- **Mutações Naturais vs. Mutações Induzidas:**
  - Radiação, vírus, produtos químicos e altas temperaturas aumentam a frequência de mutações.
- **Exemplos de Doenças Hereditárias por Mutações:**
  - Síndrome de Down, hemofilia, fibrose cística, anemia falciforme.
- **Importância para Operadores:** Mesmo uma exposição mínima pode levar a mutações genéticas, destacando a necessidade de práticas de proteção diligentes.

# Mutações Genéticas Induzidas por Radiação

- **Tipos de Mutações:**
  - **Mutações Dominantes:** Aparecem na prole; podem ocorrer com o gene de apenas um dos pais.
  - **Mutações Recessivas:** Requerem que ambos os pais carreguem o gene.
- **Achados Atuais sobre Efeitos Genéticos Induzidos por Radiação:**
  - Evidências contraditórias em humanos; evidências conclusivas em estudos com animais.

# Medidas de Segurança Radiológica e Princípio ALARA

- **ALARA (Tão Baixo Quanto Razoavelmente Exequível):**
  - Minimizar as doses de radiação enquanto se alcançam os objetivos diagnósticos ou terapêuticos.
  - As estratégias incluem minimizar o tempo de exposição, maximizar a distância e utilizar proteção adequada.
- **Equipamento de Proteção:**
  - Aventais de chumbo, barreiras e dosímetros pessoais são ferramentas essenciais.
- **Segurança Operacional:**
  - Monitoramento frequente, evitando exposições desnecessárias e utilizando técnicas adequadas reduzem a exposição cumulativa para operadores e pacientes.