

A, B, C E X DAS RADIAÇÕES

ELISABETH SANTOS DE ALMEIDA

Departamento de Física

Universidade Federal Fluminense

Outeiro São João Batista s/n

24210 Niterói, RJ

Com o advento das armas nucleares, dos reatores, das máquinas de raios X, e de outras maravilhas tecnológicas, o termo **radiação** tornou-se familiar. Baseado nisso, iniciou-se uma série de declarações tais como:

- a) fontes de radiação feitas pelo homem tem causado novas doenças, nunca antes encontradas na ciência médica ;
- b) é possível reduzir a quantidade de radiação a que uma pessoa está exposta se ela viver numa casa feita de tijolos, em vez de madeira ;
- c) o primeiro reator nuclear começou a operar há 50 anos .

Essas declarações, todas falsas, indicam que embora as pessoas falem e leiam sobre esse assunto, e mesmo se preocupem com isso (o que é bastante natural), poucas realmente entendem o que é radiação e suas características.

Assim, a radiação proveniente de fontes naturais ou

fêitas pelo homem, não causa nenhuma doença nova. A mesma espécie de efeitos danosos que a radiação produz, pode ser produzida por outras causas, tal como a química carcinogênica. Esta é uma das razões da dificuldade dos cientistas em medir os efeitos biológicos da radiação, particularmente das exposições de baixo - nível (materiais de construção, solo, certos exames e tratamentos médicos, etc...).

Tijolos não somente não são mais protetores da radiação natural que a madeira ou outros materiais de construção, como realmente fazem aumentar o nível de radiação. Como certos outros materiais comuns, tais como o granito e argila, os tijolos contêm uma quantidade pequena, embora mensurável, de substâncias radioativas naturais que constantemente emitem radiação de baixo-nível. Deve ser salientado que a quantidade de substância radioativa natural presente nos materiais varia de acordo com o local de procedência dos mesmos.

Apesar do primeiro reator nuclear para produção comercial de eletricidade não ter aparecido até a 2ª Guerra Mundial, a própria natureza produziu seu reator há cerca de 1,7 bilhões de anos. Depósitos naturais de minério de urânio, na África, por onde fluía água, resultou num arranjo peculiar bastante similar ao de uma planta nuclear atual: a energia gerada pela desintegração do urânio radioativo transformava a água em vapor, gerando o equivalente a diversos quilowatts de energia por centenas de milhares de anos. Desde esse tempo primitivo, entretanto, o minério de urânio tem perdido muito de sua radioatividade, através de milhões de anos de decaimento, de forma que tais reatores nucleares espontâneos não são mais encontrados na natureza.

A radiação afinal não é uma criação moderna da curiosi-

dade do homem em lidar com o átomo. Radiação existe no universo , desde o início dos tempos. Mesmo hoje, com a difusão das aplicações médicas e de outras aplicações tecnológicas, a radiação natural (não feita ou modificada tecnologicamente pelo homem), é mais da metade da exposição a que as pessoas estão sujeitas (ver Tabela 01). Deve-se salientar, no entanto, que os efeitos da radiação natural não são tão nocivos quanto os das outras radiações, porque ela se encontra muito dispersa (difusa) em toda a Terra, o que é bem menos significativo do que ter-se uma única fonte guardada em determinado local. Raios cósmicos originados no Sol e nas estrelas nos bombardeiam constantemente. Passageiros de avião recebem uma pequena dose extra de radiação quando voam acima da camada protetora da atmosfera. A própria Terra sujeita seus habitantes à radiação de materiais amplamente distribuídos como granito, gás natural e fosfatos. Na Índia, por exemplo, existe uma área de intensa radioatividade natural, onde a população está normalmente exposta a mais de 10 vezes o valor médio para os Estados Unidos . No Brasil, localidades como Araxá, Cumuruxatiba, Guarapari, Moaípe, Morro do Ferro e Poços de Caldas, também apresentam um alto índice de radioatividade natural.

Tabela 01 - Exposição relativa do homem à radiação ionizante média no ano de 1981, estimada pela IAEA (Agência Internacional de Energia Atômica).

FONTE DE RADIAÇÃO	%
Radiação Natural	67,6
Irradiação Médica	30,7
Precipitação	0,6
Fontes Diversas	0,5
Exposição Ocupacional	0,45
Efluentes de Instalações Nucleares	0,15
T O T A L	100,00

Mesmo o corpo humano contém traços mínimos de radioisótopos devido a materiais radioativos existentes nos alimentos tais como no leite, peixes, carnes, cerveja e mesmo na água potável.

A maior contribuição feita pelo homem à exposição à radiação de indivíduos resulta de raios X de uso médico e odontológico, e de materiais radioativos para diagnóstico e tratamento de doenças. Essas aplicações contam cerca de 90% de toda a exposição feita pelo homem para o público em geral. Quando esses procedimentos médicos são necessários, os benefícios contrabalançam os riscos (análise risco - benefício), mas estudos indicam que uma significativa percentagem de 240 milhões de exames de raios X realizados anualmente não são realmente necessários. Deve-se, então, procurar reduzir as exposições desnecessárias, e também reduzir, tanto quanto possível, a quantidade de radiação utilizada nos exames que são necessários.

As restantes 10% de exposição feitas pelo homem vêm de testes de armas nucleares, centrais de produção de energia nuclear-elétrica, e materiais radioativos de uso industrial.

Essas exposições ilustradas acima valem para o público em geral (classifica-se de público em geral a população, excluindo trabalhadores e indivíduos vivendo nas imediações de instalações nucleares). Pacientes que necessitam um grande número de raios X ou que estão submetidos à radioterapia; trabalhadores em certas ocupações, incluindo a mineração de urânio e fosfato; pesquisadores; empregados em usinas nucleares; radiologistas, e outros que trabalham com radiação médica, podem ser expostos a níveis de radiação bem acima dos normalmente aceitos para o público em geral. Esses profissionais podem ser expostos devido ao tipo

de atividade desempenhada, o que então deve ser muito bem controlado.

Radiação deliberadamente usada em numerosos benefícios para a sociedade moderna é classificada como **radiação feita pelo homem**. A mais óbvia, naturalmente, é o uso médico da radiação. Os raios X auxiliam os médicos no diagnóstico de doenças que poderiam, de outro modo, permanecer ocultas ou obscuras. No que é conhecido como Medicina nuclear, substâncias radioativas administradas a pacientes permitem a detecção de doenças, incluindo tumores. Esses **traçadores** emitem radiação que pode ser detetada de fora do corpo humano por instrumentos que identificam o órgão e a quantidade do traçador presente.

Esta técnica é freqüentemente usada para diagnosticar disfunções na tiróide. A glândula tiróide normalmente absorve iodo da corrente sanguínea, usando-o para fabricar o hormônio da tiróide. Quando se suspeita que um paciente tem uma disfunção, é administrada uma pequena quantidade de iodo radioativo (traçador), que como o iodo estável (ordinário), se acumula na tiróide. Da medida da radiação proveniente, hipertiroidismo ou hipotiroidismo pode ser detetado, e o tratamento apropriado começa.

Interessantemente, um dos mais aceitos tratamentos para hipertiroidismo é também iodo radioativo, mas em dose muito maior que a usada para diagnóstico. Por exemplo, a dose diagnóstica expõe a tiróide a cerca de 0,5 rad^(*), enquanto a dose terapêutica pode ser tão grande quanto 10.000 rad. O risco dessa alta dose de radiação é compensada pelo benefício do tratamento, considerado por muitos de mais sucesso que a cirurgia convencional, que natu-

(*) "rad" é uma unidade especial para medir dose absorvida de radiação. A atual unidade oficial é o Gray (Gy), sendo que 1 rad = 10^{-2} Gy.

ralmente também envolve risco.

Radioterapia é também utilizada para tratamento de câncer. Aqui novamente os riscos da exposição são compensados pelo benefício que o paciente portador do câncer pode receber pelo tratamento.

Radiação não médica também produz benefícios, mas o custo desses benefícios contra os riscos é mais difícil de se estimar. Ao contrário das aplicações médicas, os benefícios de outros usos da radiação feita pelo homem não atingem um indivíduo, mas a sociedade como um todo. E aqueles que sustentam os grandes riscos dessas fontes de radiação não recebem uma parcela proporcionalmente grande dos benefícios. Mineiros que lidam com o urânio, que é utilizado como combustível numa usina nuclear, podem estar sujeitos a um risco aumentado de câncer de pulmão, mas sua parte nos benefícios - a eletricidade gerada pelos reatores nucleares - não é maior que as de outras pessoas.

Esta situação não é única com radiação. O mesmo problema do custo do risco individual versus os benefícios da sociedade também existe com as usinas de carvão. Os mineiros de carvão estão sujeitos a um alto risco de câncer de pulmão, mas não usam mais eletricidade que aqueles que não partilham desse risco à saúde. Cada vez mais fica claro, enquanto os pesquisadores estudam mais e mais a respeito dos perigos à saúde em nossa sociedade tecnologicamente avançada, que nenhum dos **milagres da ciência moderna** existe sem seu risco. Isto é verdadeiro para remédios, pesticidas, automóveis, aviões, e incontáveis outros **avanços**, incluindo as fontes de radiação feitas pelo homem.

Mas o que são exatamente esses efeitos danosos à saúde? Como foi visto inicialmente, a radiação não é a única que causa e

feitos biológicos. Queimaduras devidas à exposição a altos níveis de radiação são iguais a queimaduras devidas a um fogão quente . Leucemia induzida pela radiação é indistinguível da causada por certos vírus ou produtos químicos. Isto, naturalmente, torna impossível apontar a radiação como a causa, por exemplo, de um tipo particular de câncer. O que é possível fazer é estimar, embora grosseiramente, o número extra de casos de câncer que podem ocorrer numa população de pessoas expostas à radiação. Uma publicação da **National Academy of Sciences (NAS)** trata do efeito das radiações de baixo-nível, embora admita a incerteza das estimativas apresentadas. De acordo com essa estimativa, uma única exposição de 1 rad (um nível de radiação grosseiramente comparável a 35 ou 40 radiografias simultâneas de tórax) em 1 milhão de pessoas, levariam 268 a 1.031 delas a ter câncer. Cerca de 1 em 3 desses casos seria fatal.

Com base nesses dados, é possível estimar os efeitos prováveis do acidente no reator nuclear de Three Mile Island: 1 caso adicional de câncer fatal, mais 1 efeito não fatal, tal como câncer ou um defeito genético, pode ser esperado entre os 2 milhões de pessoas morando dentro de um raio de 80 km da instalação nuclear, devido à radiação adicional que receberam de 28/03 até 07/04/79 (Numa população desse tamanho, cerca de 325.000 casos de câncer fatal seriam esperados ocorrer normalmente). Embora inexatas, tais estimativas são úteis para dar o peso dos riscos de baixo-nível de radiação, contra seus benefícios.

Evidências diretas de riscos à saúde humana devido à radiação, têm sido obtidas quase inteiramente do estudo de pessoas expostas a altos níveis de radiação. A informação vem principalmente dos estudos dos sobreviventes japoneses da bomba atômica de

Hiroshima e Nagasaki durante a 2ª Guerra Mundial, de pacientes que se submetem à terapia com radiações, e de trabalhadores cronicamente expostos a substâncias radioativas. Essas primeiras vítimas de uma nova tecnologia, incluem mulheres empregadas para pintar mostradores de relógio com rádio, que molhavam os pincéis na língua e assim ingeriam diminutas quantidades de material radioativo, que anos depois causaram a morte de muitas delas. Outros foram os pioneiros radiologistas dos anos 20, 30 e 40, que sofreram exposição a níveis de radiação muito maiores que os que os profissionais de saúde de hoje estão sujeitos. Eles aprenderam muito tarde sobre os danos à saúde em sua profissão, com alta incidência de leucemia e outros tipos de câncer.

Doses de radiação de alto nível (geralmente doses de mais de 100 rad l, se recebidas de 1 única vez, causam efeitos imediatos, que aparecem em horas, dias ou semanas após a irradiação. Esses efeitos são coletivamente conhecidos como Síndrome Aguda da Radiação (algumas vezes chamados de Doença da Radiação). Os primeiros sintomas são náusea, vômitos e indisposição. Após um período latente, durante o qual esses sintomas estabilizam-se, problemas mais sérios podem surgir: infecções, febre, hemorragias, perda de cabelo, diarreia, perda de fluidos do corpo, e efeitos sobre o sistema nervoso central. Se a exposição excede 600 rad, é quase certo seguir morte. Síndrome Aguda da Radiação tem sido observada principalmente durante experiências em laboratório com animais; casos humanos têm sido limitados às vítimas da bomba japonesa e a algumas pessoas irradiadas em acidentes com radiação em tempo de paz como por exemplo, nos acidentes de Tchernobyl e Goiânia.

Quando a dose não é grande o bastante para causar morte,

danos tardios podem ocorrer, tornando-se aparentes somente após anos, décadas ou mesmo gerações após a exposição. Efeitos tardios da radiação podem aparecer em pessoas que sobreviveram a altas doses agudas de radiação ou em pessoas que receberam pequenas doses durante um longo período de tempo. Os especialistas não estão em acordo sobre a natureza precisa e extensão do risco de exposição à radiação de baixo nível. Estudos recentes, entretanto, mostraram que não existe um limiar de exposição abaixo do qual uma pessoa está completamente a salvo: alguns graus de risco são supostos quando pessoas são expostas mesmo a muito pequenas quantidades de radiação. No entanto, algum risco deve ser aceito pela sociedade em troca dos benefícios da radiação.

Todos os tipos de radiação ionizante induzem efeitos similares, embora alguns tipos - partículas alfa, por exemplo - sejam mais potentes que outros. O dano produzido pela radiação resulta do modo que a radiação afeta moléculas essenciais ao funcionamento normal das células do corpo. Quatro coisas podem acontecer quando a radiação atinge uma célula:

- (1) ela pode passar através da célula sem causar qualquer dano ;
- (2) ela pode danificar a célula, que parcialmente repara o dano .

A habilidade de uma célula reparar alguns dos danos causados pela radiação explica porque uma dada dose de radiação cedida em pequenas quantidades por um longo período de tempo, é menos danosa que a mesma dose total dada de uma única vez ;

- (3) ela pode danificar a célula, de modo que a célula falha não somente em reparar a si própria, mas ainda se reproduz de forma danificada por um longo período de tempo ;

(4) ela pode matar a célula. A morte de uma única célula pode não ser prejudicial, mas sérios problemas ocorrem se muitas células são mortas num organismo particular, de modo que o organismo não pode mais funcionar corretamente.

Células reparadas incorretamente ou incompletamente podem produzir efeitos danosos, tais como o câncer, mutações genéticas ou defeitos de nascimento.

A quantidade de radiação absorvida é o fator mais importante na determinação dos efeitos biológicos. Mas a mesma quantidade de radiação é geralmente mais perigosa para crianças do que para adultos. O embrião em desenvolvimento no útero da mãe é, então, o mais vulnerável de todos, pois o dano pode ocorrer numa criança ainda não nascida. Este é o motivo porque mulheres grávidas e crianças devem deixar, o mais rápido possível, a área de uma emergência nuclear.

Em geral, quanto maior a área do corpo exposta, maior o dano causado pela radiação. Mas a radiação é mais perigosa para alguns tecidos do corpo do que para outros. Seu maior efeito é sobre tecidos compostos de células que se dividem rapidamente, e não são especializadas. Por exemplo, células da medula óssea são altamente sensíveis à radiação, desde que a medula óssea ajuda na produção de células sanguíneas. Vítimas da Síndrome Aguda da Radiação freqüentemente sofrem de hemorragia, anemia e infecções, todas relacionadas a problemas com o sangue. Células musculares e nervosas, de outro modo, são menos sensíveis à radiação.

Certos materiais radioativos podem afetar alguns órgãos específicos mais do que outros. Iodo radioativo, por exemplo, será mais perigoso para a glândula tireóide, porque é aí que o iodo tende a se acumular. Rádio, por outro lado, se assemelha ao cálcio

cio, e se acumula em ossos.

Os efeitos mais comuns adversos da radiação são câncer, defeitos de nascimento, catarata e um encurtamento da expectativa de vida. Em adição, se os órgãos reprodutores são irradiados, mutações genéticas podem ocorrer no esperma ou na célula-ovo, transmitindo o efeito danoso para as gerações futuras.

Dados indicam que câncer de pulmão, tiróide e mama, e leucemia, são as doenças mais comuns induzidas pela radiação. Como com outros efeitos da radiação, virtualmente todas as evidências de câncer vieram do estudo de indivíduos expostos a doses muito altas, tais como os sobreviventes da bomba A da 2ª Guerra Mundial. É extremamente difícil avaliar o risco de baixos níveis de exposição baseado na evidência de casos de alto nível de radiação.

Mesmo sendo difícil avaliar, observa-se um aumento nos defeitos genéticos nos descendentes dos indivíduos irradiados. Tais efeitos acontecem quando a radiação danifica os genes ou cromossomos no esperma ou na célula-ovo, que subsequente tomam parte na concepção. Todas as células do indivíduo em desenvolvimento (incluindo seu esperma ou sua célula-ovo) carregarão a informação genética distorcida e os efeitos passarão também para as gerações futuras. As conseqüências são variadas: o dano pode não causar nenhum efeito; pode alterar o metabolismo do corpo causando uma pré-disposição levemente maior para certas doenças, por exemplo; ou pode produzir mutações letais de forma que o feto morre no útero materno. Deve ser notado que evidência direta de mutações genéticas causadas pela radiação vem somente do estudo com animais. A mutação genética induzida pela radiação não está conclusivamente demonstrada em seres humanos, nem mesmo entre os descendentes dos sobreviventes das explosões atômicas de Hiroshima e Nagasaki.

A radiação pode também causar danos biológicos sobre o embrião ou feto em desenvolvimento, quando o abdomen da mãe é exposto, mesmo a baixas doses. Os efeitos da radiação numa criança ainda não nascida, variam com os estágios de seu desenvolvimento. Exposição durante as primeiras semanas de gravidez pode causar um aborto espontâneo e, particularmente entre a segunda e a sétima semana (quando a gravidez pode ainda não ter sido percebida), um risco aumentado de malformações na criança. Durante este período, a maior parte dos órgãos do corpo são formados, e suas células se dividindo rapidamente, são particularmente sensíveis à radiação. Pesquisadores geralmente concordam, entretanto, que malformações são improváveis de ocorrer em crianças ainda não nascidas, como resultado da exposição ao raio X diagnóstico ordinário. Somente exposições de mais de 50 rad podem produzir um aumento na incidência de defeitos no sistema nervoso, no esqueleto, etc.. O risco de câncer em crianças, entretanto, pode ser aumentado pela exposição no útero de somente 0,2 a 2 rad. Os resultados de muitos estudos indicam que a possibilidade de uma criança desenvolver um câncer antes dos 15 anos, como resultado da radiação, pode ser maior que 1 em 1.000, supondo um típico exame com 2 ou 3 filmes de raios X do abdomen da mãe.

Cálculos sobre os riscos à saúde devido à radiação, é uma ciência muito inexata, crivada de incertezas. Pode ser dito, entretanto, que qualquer risco devido à exposição de baixo-nível é pequeno. Não considerando os efeitos sobre os fetos em desenvolvimento, através da exposição do abdomen da mãe, não existe evidência direta de problemas para o homem devido a baixas doses de radiação. Os pesquisadores podem somente conjecturar sobre o fato desses riscos existirem, e fazer **advinhações educadas**.

Embora esses riscos não devam ser desprezados, eles são pequenos quando comparados com outros riscos que muitas pessoas fazem face e aceitam todos os dias. Por exemplo, um típico raio X de tórax envolve um risco de se desenvolver leucemia em cerca de 3 pessoas em 10 milhões; um tratamento da tiróide com radiação, um risco de 3 pessoas em 10.000. Comparados com riscos comumente aceitos na vida diária, um único raio X de tórax é tão potencialmente perigoso quanto fumar 2 cigarros ou dirigir numa auto-estrada por 8 km. O tratamento de distúrbios da tiróide com iodo radioativo é tão perigoso quanto fumar 100 maços de cigarros ou dirigir 8.000 km numa auto-estrada.

O ponto importante, naturalmente, é que qualquer exposição à radiação deve ser evitada, se possível. Cabe à sociedade decidir o quanto a radiação deve ser evitada; que preço deve ser pago para se gozar os benefícios da radiação, e que preço se deverá pagar pela segurança. O preço dos benefícios da radiação - energia nuclear, diagnóstico e tratamento médico, pesquisa, etc. - resulta claramente em algum grau de risco para a saúde do público, particularmente para os trabalhadores nesses campos, e em menor grau para o público em geral.

O preço da segurança depende do grau de proteção que a sociedade exige. Absoluta segurança de fontes de radiação feitas pelo homem somente é possível pela eliminação total dessas fontes. Relativa segurança envolve custo relativo. Chances idênticas são uma parte da vida civilizada moderna. Mesmo eliminando cada usina nuclear, não se eliminaria os danos à saúde da geração de eletricidade: carvão e queima de óleo também apresentam riscos à saúde, como por exemplo, poluição do ar.

Se a sociedade tem que pesar os riscos e os benefícios

da radiação feita pelo homem mais acuradamente, mais estudos devem ser realizados sobre os perigos devido à radiação, especialmente devido às baixas doses de radiação. Os resultados indicarão que custo à saúde deve ser aceito para compensar os benefícios da radiação feita pelo homem.

BIBLIOGRAFIA

- [1] - L.Tauhata, E.S.de Almeida - Radiações Nucleares - Comissão Nacional de Energia Nuclear (1983).
- [2] - A.Martin, S.A.Harbison - An Introduction to Radiation Protection - Ed.Chapman and Hall (1979).
- [3] - D.S.Grosch, L.E.Hopwood - Biological Effects of Radiation - Ed.Academic Press (1979).
- [4] - W.Jacobi - The ICRP=System of Dose Limitation - Meeting on Radiological Protection and Dosimetry (in Proc.) - Centrecon, RJ (1983).