

Medicina do trabalho e os princípios básicos de proteção radiológica: antigos e novos paradigmas

Occupational medicine and the basic principles of radiological protection: old and new paradigms

*Edmir Ximenes**
*Maria Inês Cury Guimarães***
*Gian Maria Sordi****

RESUMO: As relações entre trabalhadores, pacientes e médicos diante dos princípios básicos de proteção radiológica têm, neste trabalho, uma introdução histórica que dá ênfase ao seu desenvolvimento até se chegar ao período atual. É abordada a evolução dos conhecimentos científicos quanto aos benefícios e malefícios advindos da utilização das radiações ionizantes nas atividades humanas. Tais princípios (justificação, otimização e limitação) são tratados de modo a fornecer uma visão ampla de seus campos de aplicação. No princípio da otimização são introduzidas as técnicas de ajuda para a tomada de decisão utilizadas em proteção radiológica. No princípio da limitação de doses foi introduzido o conceito de limite vinculado a um determinado segmento da população ou a uma determinada atividade humana. Com relação ao atual relacionamento entre equipe médica e paciente, discute-se a mudança de filosofia no que diz respeito à dose de radiação ministrada, que deve ser mínima com relação aos objetivos de diagnose ou cura. Para tanto devem ser seguidas as recomendações da ICRP – International Commission on Radiological Protection. A radiação pode trazer benefícios desde que utilizada com racionalidade, eficiência e cuidados. A radiação não deve ser temida, mas respeitada.

DESCRIPTORIOS: Proteção radiológica; Radiação ionizante; Radioproteção; Medicina do trabalho

SUMMARY: The relationships of workers, patients and physicians to the basic principles of radiological protection were given in this work an historical introduction that emphasizes their development from their beginnings to the current period. The evolution of scientific knowledge as regards the benefits and injuries resulting from the use of the ionizing radiation in human activities is the main focus of the work. These principles (justification, optimization and limitation) are presented in order to offer a broader view of their application fields. The principle of the optimization receives the contribution of techniques aimed to help the decision used in radiological protection. The principle of the limitation of doses is helped by the concept of limit specifically linked to a given segment of the population or a given human activity. Regarding the current relationship between physicians and patients a change of philosophy is discussed in what concerns the radiation dose supplied that should be the minimum one in relation to the diagnosis or cure objectives. The administration of radiation must follow the recommendations of ICRP – *International Commission on Radiological Protection*. The radiation can bring benefits if used with rationality, efficacy and care. The radiation should not be feared, but respected.

KEYWORDS: Radiological protection; Ionizing radiation; Radioprotection; Occupational Medicine

* Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares — IPEN. Doutorando em Ciências — área: Tecnologia Nuclear.

** Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo — Serviço de Medicina Nuclear. Profa. Dra. Chefe da Divisão de Proteção Radiológica.

*** Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares — IPEN-CNEN/SP. Professor Doutor Especialista em Proteção Radiológica.

Introdução

O grande desenvolvimento de nossos conhecimentos científicos, baseados em descobertas capitais ocorridas nos últimos anos do século XIX, tais como os raios X, a radioatividade e o elétron, provocaram uma total reviravolta no modo de vida da humanidade. Tais descobertas abriram o caminho ao conhecimento do micro e do macrocosmo, proporcionando uma grande compreensão da matéria viva e inanimada, que, com o conseqüente progresso social, permitiu ao homem dispor de bens de consumo em massa, melhoria da saúde etc. O desenvolvimento científico e tecnológico incorporado no século XX, mormente em sua segunda metade no campo da energia atômica, sobretudo nas áreas aplicáveis à medicina, à agricultura e à produção de energia elétrica, tem proporcionado à sociedade uma considerável elevação de sua qualidade de vida.

Desde 1945 a radiação atômica tem despertado muita oposição à sua utilização, relativa às conseqüências advindas de seu uso militar, já que permite a erradicação quase instantânea de milhares de pessoas. Isso conduziu ao aparecimento de grupos organizados que exploram o medo e a ignorância da população sobre o assunto, impedindo a construção de usinas termonucleares e outros serviços, tais como os da saúde, que, sob controle de especialistas, somente beneficiam os utilizadores.

Esquecem tais grupos que será preciso que se dê uma solução em curto prazo ao impacto dos combustíveis fósseis sobre o clima do globo e o efeito estufa, assim como de outros transtornos ambientais causados pelo homem.

Segundo Georges Charpak (Charpak, 1997), prêmio Nobel de Física em 1992, pesquisador do Centro Europeu de Pesquisas Nucleares, na Suíça, três milhões de pessoas morrem de câncer por ano, causado pelo fumo, e esse número subirá para 10 milhões em 20 anos, graças ao aumento de fumantes nos países em desenvolvimento.

De qualquer forma, como conseqüência de um centenário de notável progresso científico e tecnológico, as viagens espaciais e a provável colonização de outros planetas, que deve ser iniciada já neste novo século XXI, quando seres humanos ficarão expostos a todo tipo de partículas cósmicas durante longa permanência fora de seu ambiente natural, tem elevado a demanda por conhecimentos teóricos acerca dos efeitos da radiação de alta energia no corpo humano.

Independentemente da necessidade de energia que há no mundo, onde os recursos hídricos e fósseis utilizáveis estão se esgotando, e da propulsão nuclear indispensável às grandes descobertas astronáuticas, as radiações são de utilidade direta na vida diária. É indispensável para certos diagnósticos médicos, para o tratamento direto dos tumores, para destruir ou aliviar cânceres disseminados, injetando-se substâncias radioativas que assimilam tais tumores e os destroem onde estejam, como ocorre com o iodo radioativo para tumores tireoidianos (Motta, 1997), ou aliviar dores de metástases ósseas causadas por tumores primários na próstata, na mama e nos pulmões, através do elemento samário-153-EDTMP¹. É indispensável, ainda, em algumas especialidades médicas específicas, como a *radiologia vascular*, em que

se submete a área vascular a ser tratada à irradiação com irídio 192, o iodo-131, o tecnécio-99m, o F-18 FDG, o gálio-67 e outros radiofármacos são muito empregados na medicina nuclear enquanto o urânio é usado em reatores, para produção de energia elétrica.

A radiação se presta também à esterilização de alimentos, à determinação de idade em descobertas arqueológicas, paleontológicas e geológicas. As substâncias indicadoras permitem conhecer os mecanismos íntimos da vida e da indústria. A agronomia irradia sementes para produzir novas variedades mais produtivas, mais resistentes às pragas, para o aumento de produção de alimentos para um mundo que cresce assustadoramente em população.

Portanto, a importância das radiações em nosso cotidiano é cada vez maior, mas também são conhecidos os perigos das substâncias radioativas. Quando se trabalha com radiação, libera-se parte dela no meio ambiente. A ameaça, em caso de acidentes, é muito séria pois, dependendo do caso, seus efeitos podem ser devastadores.

Muitos trabalhadores e especialistas em radiação têm manifestado suas preocupações a respeito de prós e contras em relação ao seu uso e seus efeitos no corpo humano. Muitos trabalhos foram desenvolvidos para fornecer subsídios quanto à aplicação, à proteção e à padronização da radiação.

No presente trabalho estaremos tratando sucintamente da proteção radiológica, sua finalidade e sua evolução histórica. Trataremos ainda dos objetivos e dos meios de que se dispõe para a execução das recomendações da Comissão Internacional de Proteção Radiológica.

1. Etilenodiamintetrametileno difosfonato.

Radioatividade

Notas históricas

Sabemos que os átomos são como sistemas planetários. É natural supor que os mais complexos sejam os mais instáveis, como os derivados de urânio, tório, actínio. Entretanto, não são estes os únicos instáveis. Alguns átomos "leves", com pequeno número de elétrons, tendem a desintegrar-se. Muitos são isótopos de elementos estáveis. Um isótopo de um elemento estável tem o mesmo número de prótons e elétrons deste, mas seu núcleo está desequilibrado por excesso ou falta de nêutrons.

A radioatividade é a desintegração espontânea que, ao desintegrar-se, transmuta, isto é, forma elementos mais estáveis.

A radioatividade prejudicou a saúde de muitos dos primeiros investigadores, pois eles desconheciam a radiação com a qual estavam trabalhando e seus efeitos. Marie Curie [1867-1934], por exemplo, descobridora, juntamente com seu marido, do rádio e do polônio, morreu de leucemia, em consequência da destruição da medula óssea, causada, provavelmente, pela radiação. Outros destes pioneiros chegaram a ficar sem as mãos e até sem os braços (Low, 1962).

Breve cronologia da história das radiações:

- Wilhelm Conrad Röntgen [1845-1923]
Físico alemão que descobriu, em 1895, os raios X e que deixou importantes contribuições sobre a condutividade de calor dos cristais e sobre o calor específico dos gases. Recebeu o prêmio Nobel de Física em 1901 (Okunó, 1998).
- Henri Becquerel [1852-1908]
Investigou as propriedades da radiação natural dos sais de

urânio e é lembrado como sendo o descobridor da radioatividade (1896). Compartilhou o prêmio Nobel de Física de 1903 com Marie e Pierre Curie por essa conquista. A maioria ignora que Henri Becquerel não só descobriu a radioatividade como também foi o primeiro a chamar a atenção para o perigo que essa representava para os seres vivos. Um pedaço de mineral radioativo que transportara em seu bolso provocou uma ferida em sua pele (Larousse, 1995).

- 1928: 2º Congresso Internacional de Radiologia realizado em Estocolmo
Surge a ICRP — International Commission on Radiological Protection, restrito unicamente ao campo médico.

- Desenvolvimento da energia nuclear

Em 2 de dezembro de 1942 começou a ser montada, em Chicago, a primeira pilha atômica do mundo, partindo de pedaços de urânio natural e óxido de urânio, separados por grafita. Conforme seu tamanho foi sendo aumentado, a pilha foi se tornando crítica e começou a fornecer energia. No início, a produção de energia foi só de meio watt, suficiente apenas para acender uma pequena lâmpada. Dez dias depois, quando seu diâmetro foi aumentado para 8 metros, a potência subiu para 200 watts. Não se continuou aumentando a pilha, por causa da periculosidade das radiações. Esse primeiro reator experimental serviu para demonstrar que a fissão do núcleo atômico do urânio poderia fornecer energia controlável. Alguns átomos da pilha se separaram, espontaneamente, em duas partes pesadas, li-

berando energia e fragmentos menores, entre os quais se encontram os nêutrons. Estes podem ser capturados por outros núcleos de urânio dando origem a novas fissões nucleares. Em cada fissão são liberados vários nêutrons, de modo que, se ao menos um dos que são produzidos em cada fissão for capturado, uma única fissão espontânea pode gerar uma reação em cadeia, obtendo-se assim uma contínua fonte de energia (Low, 1963).

- 1942-1955: em 6 e 8 de agosto de 1945 foram lançadas em Hiroshima e Nagasaki, respectivamente, as duas primeiras bombas atômicas, contra alvos civis. A destruição foi intensa e revelou ao mundo o que a energia nuclear, mal administrada, pode causar ao homem e ao meio ambiente. O impacto desse ato foi intenso e marcou para sempre a história da humanidade.

De 1942 em diante foram construídos reatores dos mais diversos tipos. Os primeiros eram puramente experimentais. Alguns se destinaram à produção de plutônio, para preparar bombas atômicas. Na metade da década de 1950, começou-se a utilizar, em escala comercial, o calor produzido por reações nucleares, na produção de energia elétrica. Houve, então, um grande impulso com a liberação da energia nuclear para fins pacíficos.

- 1956: após o conhecimento dos efeitos da energia nuclear e suas consequências desastrosas, caso ocorresse uma guerra nuclear, achou-se por bem criar a Agência Internacional de Energia Atômica (International Atomic Energy Agency — IAEA). Organização independente, cujo foco

é a cooperação, a fiscalização e o desenvolvimento nuclear para o bem, atuando no âmbito das Nações Unidas. Colabora com os Estados membros no contexto de metas sociais e econômicas, planejando o uso da tecnologia nuclear para fins pacíficos, inclusive a geração de eletricidade. Facilita a transferência de tecnologia de uma maneira sustentável para desenvolvimento dos Estados associados.

Finalidade e principais objetivos

A principal finalidade da proteção radiológica é proteger a pessoa e seu ambiente dos efeitos nocivos das radiações ionizantes, e das substâncias radioativas, e ao mesmo tempo possibilitar ao ser humano desfrutar todos os benefícios que se podem originar do uso da energia atômica. Considera-se assim que, se dermos proteção suficiente à pessoa, também, o seu ambiente estará protegido, uma vez que existe uma interação entre ambos.

A proteção radiológica à pessoa pode ser dividida em duas partes: *proteção ao trabalhador*, isto é, aquele indivíduo cujas atividades envolvam radiações e materiais radioativos, e *proteção aos indivíduos do público* ou população em geral, isto é, aquele grupo de indivíduos que não está envolvido diretamente em atividades com radiações ou materiais radioativos, mas que pode vir a sofrer conseqüências por viver próximo a instalações radioativas ou nucleares. Estes indivíduos podem ser irradiados diretamente pelo vazamento da radiação através das blindagens, ou pela liberação de material radioativo no ambiente. Entre estes indivíduos considera-se o grupo crítico, isto é, aquele grupo homogêneo nos hábitos e costumes, que pode vir a sofrer

maiores conseqüências, em virtude da atividade com radiação, ou, em outras palavras: é o grupo que recebe maior dose.

Desta maneira o principal objetivo da radioproteção ocupacional é a obtenção e manutenção de condições de trabalho aceitavelmente seguras e satisfatórias, enquanto o principal objetivo da radioproteção do indivíduo do público é controlar a radiação direta e a liberação de material radioativo no ambiente, de maneira tal que o risco a que está sendo submetido o grupo crítico seja inferior, ou no máximo igual, ao risco normalmente aceito por ele, entre os que se apresentam em sua vida diária.

Proteção do trabalhador e do público

Considerando primeiramente a radioproteção ocupacional, para a qual se deve obter e manter condições de trabalho seguras e satisfatórias, os únicos meios disponíveis para proteger-se da radiação são considerados conceitos fundamentais da proteção radiológica: *tempo*, *taxa de exposição* e *blindagem*, ou uma combinação de dois deles ou todos eles.

O *tempo* é diretamente proporcional à dose e, portanto, quanto menor for o tempo em presença das radiações e materiais radioativos, menor a dose a que se expõe o trabalhador.

A *taxa de exposição* é inversamente proporcional ao quadrado da *distância*, pois quanto maior a distância entre a fonte radioativa e o objeto menor a taxa a que se expõe o objeto, no caso o trabalhador, e menor a dose recebida por ele. Podemos aumentar a distância fazendo uso de garras, pinças, controles remotos etc.

Blindagem: é norma da radioproteção que determina que as instalações radioativas sejam autoblindadas. Admite-se o uso de

EPI (Equipamento de Proteção Individual) como complemento de proteção, quando não é possível fazer blindagem em certas fontes como por exemplo em um serviço de medicina nuclear, onde uma das fontes é o paciente, ou seja essa fonte é móvel e não possui blindagem.

Para o indivíduo do público, a proteção ao patamar de risco estabelecido é feita para a radiação direta, por blindagem e para a liberação de material radioativo no ambiente, por sistemas de engenharia e construção tais como: filtros adequados para gases, vapores e aerossóis. Portanto, trata-se essencialmente de projetos de engenharia de segurança.

As embalagens para transporte de material radioativo fazem parte da proteção dos indivíduos do público, uma vez que se deseja que elas sejam transportadas por esses indivíduos, assim como os demais materiais, seguindo os meios e rotas estipulados pela radioproteção. No caso, os envolvidos no transporte constituirão o grupo crítico.

Sistemas de monitoração

Uma vez que se tenha obtido e mantido as condições de trabalho aceitavelmente seguras e satisfatórias e os riscos do grupo crítico inferiores ou iguais aos riscos normalmente presentes na vida diária, deve-se mostrar que o sistema de segurança implantado é adequado e, ainda, comprovar que continua adequado com o decorrer do tempo. Isto é conseguido pela *técnica de monitoração*. Existem dois tipos de técnicas de monitoração, tanto para o trabalhador como para o indivíduo do público. Uma tem caráter *preventivo*, isto é, o de evitar que o trabalhador ou indivíduo do público receba a dose, e, portanto, alertá-lo para a presença de um campo de

radiação; enquanto a outra tem um caráter confirmatório, isto é, avalia a dose de radiação realmente recebida pelo trabalhador ou indivíduo do público e, portanto, já foi recebida. A grande importância da monitoração de caráter preventivo é que ela se preocupa em fazer uma estimativa da dose que irá ser recebida, antes de sê-lo — portanto, se for excessiva, poderá ser evitada. A monitoração de caráter confirmatório mede a dose realmente recebida, mas neste caso já não pode ser evitada.

Princípios básicos de proteção radiológica

A proteção radiológica se preocupa com a proteção dos indivíduos, dos descendentes e da humanidade como um todo, permitindo atividades necessárias com a radiação. Os efeitos de dano biológico para o qual é requerida a proteção são conhecidos como *efeitos somáticos* e *efeitos hereditários*. Os efeitos da radiação são chamados de “somáticos” quando se manifestam no próprio indivíduo, e de “hereditários” quando afetam os seus descendentes. São também classificados em *efeitos estocásticos* e *efeitos determinísticos*.

Os *efeitos estocásticos* são aqueles em que a probabilidade de ocorrência é função da dose, sem limiar, e não a sua gravidade. Para a faixa de dose normalmente tratada em proteção radiológica, os efeitos hereditários são considerados estocásticos. Alguns dos efeitos somáticos também são tratados como estocásticos, e destes a carcinogênese é considerada possuidora do maior risco à irradiação de baixas doses, e portando o principal problema em proteção radiológica.

Os *efeitos determinísticos* são aqueles em que a gravidade do efeito

varia com a dose e, portanto, pode existir uma dose limiar. Alguns destes efeitos são específicos a certos tecidos, como nos casos de catarata, danos não-malignos na pele, diminuição de células da medula óssea, causando deficiências hematológicas, danos nas células das gônadas, levando à diminuição da fertilidade. Outros efeitos determinísticos podem surgir nos vasos sanguíneos ou nos elementos do tecido conectivo que são comuns em muitos órgãos do corpo; e, portanto, exigem, como medida de precaução, um limite de dose equivalente tão baixo que não apareça efeito determinístico em qualquer órgão ou tecido. Desta forma, a gravidade do efeito depende da magnitude da dose recebida, e parece existir um nítido limiar de dose abaixo do qual nenhum efeito em detrimento da saúde é observado.

Paradigmas iniciais de proteção radiológica

Consideramos como paradigmas iniciais de proteção radiológica aqueles que se tornaram vigentes após a liberação da energia atômica para usos pacíficos em 1955. Tais paradigmas foram enunciados pela ICRP — *International Commission on Radiological Protection*: publicação 1 (ICRP1, 1958), publicação 2 (ICRP2, 1959) e pela publicação 9 (ICRP9, 1966).

A Agência Internacional de Energia Atômica — AIEA, enunciou os paradigmas em apreço em 1967 na publicação 9, da coleção *Safety Series* (AIEA, 1967).

Na realidade, naquela época o paradigma era um só e atualmente é conhecido como *paradigma do sistema de limitação de dose*. Em síntese, ele é expresso pelos *Limites Anuais Máximos Permissíveis* — LAMP, que foram definidos para

a população como um todo, para o trabalhador e para os indivíduos do público (grupo crítico). As principais bases para o estabelecimento de seus valores foram:

a) *Para a população como um todo*
Pesquisas genéticas mostraram que 2% a 20% das mutações malélicas seriam atribuídas a radiação ionizante. Partindo destes dados e do conhecimento da dose anual média do globo, deduziram que o número de mutações malélicas nos descendentes de um indivíduo duplicaria num intervalo de dose entre 0,15 Sv e 1,5 Sv².

Por motivos de segurança, a ICRP admitiu que a duplicação das mutações se daria com uma dose de 0,10 Sv e a partir deste valor estabeleceu um valor de 50 mSv por geração para a população como um todo. Naquela época, a vida média de uma geração era considerada ser de 30 anos. Este valor de 50 mSv era considerado seguro para evitar um grande acréscimo de mutações nas gerações futuras. Este valor limita a dose anual na população a 1,67 mSv/ano.

b) *Para o trabalhador*

Os trabalhadores formam uma fração muito pequena dos indivíduos quando comparada à população como um todo e, portanto, não devem ser considerados os efeitos hereditários como no caso anterior, mas unicamente os efeitos somáticos. Para os efeitos que têm uma dose limiar para a ocorrência de manifestações tornava-se fácil estabelecer um limite, mas a preocupação devia ser dirigida a alguns efeitos biológicos considerados completamente aleatórios

2. Sv — Sievert: unidade de medida da dose recebida (dose equivalente), levando-se em consideração um fator de qualidade, pode-se dizer, do tipo de radiação ionizante. O Sievert substitui o rem. 1 Sv = 100 rem.

na época. Entre tais efeitos destacam-se o câncer e o encurtamento do período de vida. Sabe-se, atualmente, que este último não se manifesta nos seres humanos. Neste caso o limite anual máximo permitível deveria ser estabelecido num valor tal que a incidência de tumores cancerígenos no trabalhador continuasse idêntica àquela que ocorre na população como um todo, isto é, que não seja detectado aumento de incidência de câncer no trabalhador com relação à população como um todo. Posteriormente considerou-se de 76 anos a vida média da população. Partindo destes pressupostos, estabeleceu-se que o limite anual máximo permitível para o corpo inteiro era de 50 mSv/ano.

- c) Para os indivíduos do público É evidente que se deve considerar um terceiro grupo de indivíduos além dos dois já citados, pois quando se trabalha com as radiações ionizantes sempre existe uma fuga ou uma liberação de material radioativo, irradiando, conseqüentemente, as pessoas que se encontram neste ambiente. Estas pessoas foram denominadas indivíduos do público. Entre estas pessoas existe um grupo conhecido como grupo crítico, que é aquele grupo homogêneo em seus usos e costumes e que recebe a maior dose e, portanto, os maiores malefícios.

Claro está que este grupo que vive nas imediações nucleares é bem maior do que o grupo de trabalhadores, porém inferior à população como um todo e, portanto, o limite de dose anual máximo permitível deveria ser estabelecido entre os 50 mSv/ano para

o trabalhador e 1,67 mSv/ano para a população como um todo. Foi escolhida a dose de 5 mSv/ano no grupo crítico.

Paradigmas em uso até 1995

Os paradigmas internacionalmente em uso até 1995 foram enunciados nas publicações da ICRP: publicação 22 (ICRP22, 1973), publicação 26 (ICRP26, 1977) e publicação 30 (ICRP30, 1978), e foram adotados pela Agência Internacional de Energia Atômica, na coleção *Safety Series* n. 9 (AIEA, 1982).

Apresenta em seu escopo os princípios básicos de justificação, otimização e limitação da dose individual:

- Justificação: qualquer atividade envolvendo radiação ou exposição deve ser justificada em relação a outras alternativas e produzir um benefício líquido positivo para a sociedade.
- Otimização: o projeto, o planejamento do uso e a operação de instalação nuclear ou radioativa e de fontes de radiação devem ser feitos de modo a garantir que as exposições sejam tão baixas quanto razoavelmente exequíveis, levando-se em consideração fatores sociais e econômicos. Esse princípio é conhecido como princípio ALARA, *As Low As Reasonable Achievable*.
- Limites: as doses individuais de trabalhadores e de indivíduos do público não devem exceder os limites anuais de dose equivalente estabelecidos.

Antes de se discutir os novos paradigmas deve-se estabelecer como premissa o motivo pelo qual se tornou necessária a mudança. Uma série de fatos propiciou esta mudança, e entre eles destacam-se alguns que são considerados vitais.

Os efeitos biológicos considerados completamente aleatórios,

tais como o câncer e o encurtamento da vida, na realidade não eram tão aleatórios e imprevisíveis assim, mas obedeciam às leis das probabilidades e da estatística. C encurtamento da vida não pode ser provado para seres humanos e deixou de ser considerado. Para explicar o aparecimento do câncer induzido pela radiação ionizante surgiu a *teoria do alvo*. Em síntese, essa teoria está alicerçada no tiro ao alvo, em que o tiro seria a radiação ionizante e o alvo a célula. Se o tiro, radiação ionizante, acertasse a célula em seus pontos vitais, ela morreria, mas em caso contrário poderia ser lesada e vir a morrer tempos depois, ou sobreviver ao ferimento. Neste último caso, em virtude da lesão de uma célula diferenciada das demais, e se o patrimônio da divisão celular não fosse prejudicado, poderia ela dar origem a descendentes diferenciados que após várias gerações de divisão apareceriam clinicamente diagnosticáveis como câncer.

Como qualquer radiação ionizante, por menor energia que tenha, é suficiente para lesar as células, deve-se admitir que o processo de oncogênese é sem limiar, ou, em outras palavras: qualquer dose, por menor que seja, faz mal e, portanto, deve ser reduzida. Para conseguir a redução de dose deve-se modificar o paradigma do Sistema de Limitação de Dose, isto é, deve-se melhorar as condições de proteção até se chegar a um nível de dose cujo risco, por ser considerado muito pequeno, é aceitável. Este nível de risco é conhecido como nível de registro.

Em segundo lugar, quando surgiu a primeira publicação da Comissão Internacional de Proteção Radiológica, a de n. 22 (ICRP22, 1973), estava-se em plena crise do petróleo, que trouxe uma série de

conseqüências econômicas mundiais muito graves. Este fato também deveria ser levado em consideração, o que, propiciou a introdução de um segundo paradigma.

O novo sistema de limitação estabelece os *Limites Anuais Máximos Admissíveis* (LAMA) para o trabalhador e para o público. Estes limites anuais só são admitidos se forem justificados e enquanto se mantiverem otimizados. Nada mais é permitido, tudo deve ser justificado e otimizado. Doses superiores aos LAMAs para trabalhadores e indivíduos do público são inaceitáveis. O princípio da justificativa e, principalmente, o princípio da otimização (ALARA) fazem com que a proteção seja cada vez mais aperfeiçoada até serem alcançados os níveis de dose considerados aceitáveis.

O princípio da justificativa proíbe a introdução de atividade para as quais o prejuízo sanitário é superior ao benefício recebido pela sociedade com a introdução daquela atividade, e o princípio da otimização (ALARA) impõe o abaixamento contínuo das doses, uma vez que ele procura responder à pergunta: *Será que foram tomadas todas as providências possíveis*

e cabíveis para que se abaxem as doses? (Figura 1)

Novos paradigmas internacionais: em implementação

Os novos paradigmas internacionais foram introduzidos pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica, na publicação n. 60 (ICRP60, 1995), e pela Agência Internacional de Energia Atômica, na coleção *Safety Series* n. 115 (AIEA115, 1995). Eis as principais premissas que levaram ao novo conjunto de paradigmas:

- Qualquer dose, por menor que seja, faz mal e, portanto, deve ser reduzida; este princípio continua de pé, uma vez que se quer reduzir a dose ao nível aceitável que coincide com o nível de registro, isto é, 1/10 do LAMA, ou seja, para o corpo todo 5 mSv/ano.
- Enquanto se tinha um universo de trabalhadores muito pequeno quando as doses eram superiores aos 3/10 do LAMA, agora o universo passa a ser muito grande e pode alcançar 30 ou 40% dos trabalhadores.
- Os limites anteriores para trabalhadores não são justificados. Esta premissa é eviden-

te, uma vez que todos os trabalhadores recebem doses inferiores a 3/10 dos LAMAs.

- Para os trabalhadores não se justifica um limite anual único, para as múltiplas atividades humanas envolvendo fontes de radiação ionizante. Isto é evidenciado pelo fato de que diferentes atividades humanas possibilitam diferentes blindagens das fontes e diferentes espectros de dose dos trabalhadores. Exemplo, doses admitidas para trabalhadores em gamagrafia não são as mesmas que aquelas admitidas para trabalhadores que usam pequenas fontes para avaliar a espessura de películas de papel ou doses recebidas por secretárias de ambas as atividades.
- Deve-se controlar as possibilidades de ocorrência e os valores previstos nas exposições potenciais.

Em função destas premissas houve a necessidade de modificar em parte os paradigmas vigentes e introduzir outros.

Os novos paradigmas

O paradigma do sistema de limitação com os limites anuais e os princípios da justificativa e da otimização foram mantidos, mas para o trabalhador foi acrescentado mais um limite. Como todos os trabalhadores encontram-se com doses anuais de corpo inteiro inferiores a 15 mSv, e neste nível de dose o erro estimado é de 25%, tem-se 15 mSv, com um diferencial de 4 mSv para mais ou para menos. Portanto foi estabelecido um limite anual médio de 20 mSv, mediado sobre 5 anos, que se identifica como *Limite Anual Máximo Admissível Médio*, LAMAM.

O paradigma de manter a proteção radiológica econômica e eficaz continua vigente.

Paradigmas adotados pela AIEA (Safety Series n. 9, 1982)

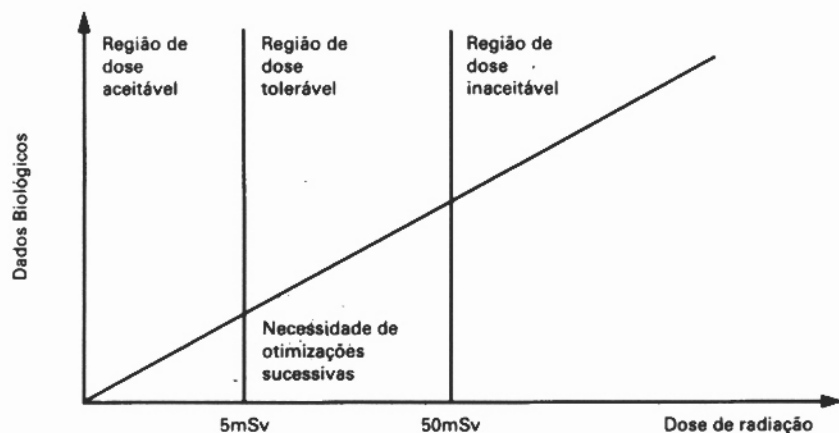


FIGURA 1

Foi introduzido um terceiro paradigma para permitir limites diferenciados para as diferentes atividades humanas, limites estes conhecidos como *Limites Retraídos ou Vinculados*.

Por fim, foi introduzido um quarto limite para a exposição potencial, isto é, aquela exposição que pode ocorrer em eventos anormais, mas que não se pode garantir que realmente ocorrerá. Unicamente por meio de cenários pode-se prever uma certa probabilidade de ocorrer um determinado nível de dose.

Para esta exposição potencial foi sugerido um *Limite Anual de Risco* e para abaixar a sua probabilidade de ocorrência e a dose prevista em caso de ela ocorrer foram introduzidos os princípios da justificação e da otimização.

Para estabelecer o limite anual de risco, foi sugerido que o risco anual à saúde provocado pela exposição potencial fosse no máximo igual ao risco provocado pelo limite anual máximo admissível (LAMA).

Previsões nas tendências futuras próximas

No relatório anual da ICRP referente ao ano de 1997, recebido em 21 de setembro de 1998, informava-se que já havia sido empreendido o trabalho inicial para consolidar e recapitular a recomendação 60 (ICRP60). Isso permitiria publicar um conjunto de propostas atualizadas por volta de 2005, pois nesta data os países da União Européia estariam em condições técnicas de adotar estas novas normas, condições que pressupõem que todos os trabalhadores recebam, em condições normais de trabalho, doses anuais inferiores a 5 mSv. A atual perspectiva é que neste ano de 2003 os países da União Européia já se encontrem nestas condições. Pelo que se avalia atualmente, existem

três correntes com opiniões distintas se contrapondo, a saber:

- a tradicionalista, isto é, aquela que predominou até a publicação 60 da ICRP e as recomendações da AIEA, e que preconiza para os trabalhadores doses inferiores a 5 mSv/ano, considerando-as aceitáveis;
- a baseada na otimização, que preconiza os limites contraídos, que devem ser abaixados até que sejam justificados pelo processo das otimizações sucessivas;
- a que deseja voltar aos *Limites Anuais Máximos Permissíveis*, LAMP. Em virtude do fato de que abaixo dos 200 mSv/ano não se pode detectar os malefícios provocados pela radiação. Essa corrente defende o estabelecimento de um LAMP de 30 mSv/ano, tanto para os trabalhadores como para o público, isto é, deixariam de existir as duas classes, e este limite seria válido para toda a população, tomando o sujeito individualmente. É a corrente atualmente mais fraca.

A tendência mostrada no congresso da *International Radiation Protection Association* — IRPA, realizado no Japão de 14 a 19 de maio de 2000, é de que o processo de otimização continuará até que as doses dos trabalhadores alcancem os limites para o público (Clarke, 2000).

Considerações finais: muito além dos paradigmas

Em proteção radiológica, como em qualquer outra questão relativa à saúde e à segurança, deve-se fazer uma distinção entre responsabilidade e autoridade. O primeiro estágio da responsabilidade é a obrigação de estabelecer finalidades, fornecer as medidas necessárias para atingir essas finalidades e garantir que estas medidas sejam

conduzidas adequadamente. É em essência um conceito prospectivo (que faz ver adiante no tempo — ao longe). Aqueles que detêm a responsabilidade devem ter autoridade para alocar os recursos necessários ao cumprimento de suas responsabilidades. Existe um componente retrospectivo (já ocorreu) da responsabilidade, às vezes chamada de prestação de contas, que exige uma revisão contínua de desempenho a ser posta em prática, de forma que as falhas sejam identificadas e sejam tomadas medidas para impedir a sua reincidência. A prestação de contas implica a necessidade de se estabelecer um programa de verificação para determinar a eficácia com que os objetivos originais estão sendo alcançados.

A responsabilidade primária de conseguir e manter um controle satisfatório das exposições à radiação permanece diretamente sob os corpos gerenciais das instituições que conduzem as operações que dão origem às exposições. Quando os equipamentos ou as instalações são projetados, ou fornecidos, por outras instituições, elas têm, cada uma por sua vez, a responsabilidade de verificar que os itens fornecidos sejam satisfatórios, se usados de acordo com suas finalidades.

Os governos têm a responsabilidade de instituir órgãos reguladores que tenham a responsabilidade de fornecer uma estrutura regulamentadora. Eles também devem assumir a responsabilidade direta quando não houver entidade gerencial pertinente, como nas exposições a muitas fontes naturais.

A primeira e, em muitos aspectos, a mais importante das exigências gerenciais para a implementação das recomendações da *International Commission on Radiological Protection* é estabelecer uma atitude baseada na segurança de todos

os indivíduos ligados a todas as operações, desde o projeto até a desativação. Isto só pode ser conseguido através de um comprometimento considerável com o

treinamento e o reconhecimento de que a segurança é uma *responsabilidade individual*, e deve se constituir na principal preocupação de cada um além da cúpula

gerencial. Relações estreitas entre a gerência e os representantes da força de trabalho são de fundamental importância na obtenção dos objetivos comuns.

REFERÊNCIAS

- AIEA. Basic Safety Standards for Radiation Protection. Agência Internacional de Energia Atômica; 1967. [Edition Safety Series n.9.]
- AIEA. Basic Safety Standards for Radiation Protection. Agência Internacional de Energia Atômica; 1982. [Edition Safety Series n.9.]
- AIEA. Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation. Agência Internacional de Energia Atômica; 1995. [Safety Radiation Sources, Series n. 115.]
- Chapak G. Energia nuclear, promessas e temores. Folha de São Paulo 1997; Set 5. p.1-3. [tendências e debates]
- Clark RH. The current activities of the International Commission on Radiological Protection. In: International Congress of the International Radiation Protection Association 10: harmonization of the Human Life and the Ecosystem; 2000 May 14-19 May; Hiroshima; 2000.
- O precioso tecnécio. Rev Globo Ciência 1997;7(74):35-36.
- ICRPI. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 1; 1958.
- ICRP. Report on Decision at the 1959 Meeting of the International Commission on Radiological Protection. Addendum ICRP Publication 1; 1958. Recommendations; 1959. [Publication 2].
- ICRP9. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Adopted September 17; 1965; 1966. [Publication 9]
- ICRP. Implications of Commission Recommendations that Doses Be Kept as Low as Readily Achievable, International Commission on Radiological Protection; 1973. [Publication 22]
- ICRP. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.; 1977. [Publication 26]
- ICRP. Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, International Commission on Radiological Protection; 1978-1982. [Publication 30]
- ICRP. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection; 1991. [Publication 60]
- Grande Enciclopédia Larousse Cultural. São Paulo: Nova Cultural; 1995. [Larousse verbete: Becquerel, Henri].
- Low S. Radioatividade, a fissão do átomo, tecnirama. São Paulo: Codex; 1962. p.1:43. [Enciclopédia da Ciência e Tecnologia].
- Low S. Desenvolvimento da energia nuclear, tecnirama. São Paulo: Codex; 1963. p. 10:241. [Enciclopédia da Ciência e Tecnologia].
- Motta LACR et al. Hormônio Estimulante da Tireóide -Aumento Sérico em Portadores de Tumores Selares ou Parasselares Antes ou Após Tratamento com Cirurgia e/ou Radioterapia. Revista ARS CURANDI 1997;30:12-22.
- Okumo E. Radiação: efeitos, riscos e benefícios. São Paulo: Harbra; 1998.