



FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO

**PARECER Nº** 1/2023/SLAP/CAP/DPA  
**PROCESSO Nº** 47648.002020/2022-97  
**INTERESSADO:** COMITÊ DE PESQUISA APLICADA  
**ASSUNTO:** Revisão do Parecer Técnico a respeito da portaria n. 518/03 do MTE subscrito por Robson Spinelli e outros em 2015.

PARECER TÉCNICO RELATIVO A ANÁLISE DAS EXPOSIÇÕES OCUPACIONAIS ÀS RADIAÇÕES IONIZANTES FRENTE A PORTARIA N. 518/03 do MTE

Senhor Presidente,

## PARECER TÉCNICO

### RELACIONADO EXPOSIÇÕES OCUPACIONAIS ÀS RADIAÇÕES IONIZANTES FRENTE A PORTARIA No 518/2003 do MTE

#### I. Introdução

#### II. Contextualização Legal

#### III. Estabelecimento de entidades internacionais e nacionais visando à proteção do ser humano e do meio ambiente

#### IV. Radiação como parte da vida cotidiana

- A definição de uma fonte
- Fontes Naturais

#### V. Efeitos das radiações ionizantes

- Efeitos Determinísticos
- Efeitos Estocásticos

#### VI. O sistema de proteção radiológica aplicado ao indivíduo

- Tipos de Situação de Exposição
- Categorias de exposição
- Exposições ocupacionais
- Exposição do público
- Exposição médica de pacientes
- A identificação dos indivíduos expostos
- Categorização de Fontes

#### VII. Níveis de proteção radiológica

- Exposições Potenciais
- Avaliação de *exposições potenciais*

#### VIII. Limitação de dose

- Definição do indivíduo exposto
- Trabalhadoras grávidas ou lactantes
- Trabalhadores itinerantes

#### IX. Licenciamento e Controle das instalações que utilizam radiação ionizante

- Posições Regulatórias
- Áreas de Trabalho e Limites de Dose
- Programa de gerenciamento de doses ocupacionais
- Instalações Radiativas

- Instalações Nucleares
- Instalações Mineró-Industriais

## X. Licenciamento e Controle das instalações que utilizam radiação ionizante no radiodiagnóstico e radiologia intervencionista

## XI. Observações finais

- 

## EXPOSIÇÕES OCUPACIONAIS

### I. Introdução

Em 1895, o físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen descobriu um tipo de radiação – a qual chamou de raios X – que poderia ser utilizada para visualizar internamente o corpo humano. Tal descoberta levou ao uso médico da radiação, que tem se expandido desde então. Roentgen recebeu o primeiro Prêmio Nobel de Física, em 1901, como reconhecimento aos extraordinários serviços prestados à humanidade (UNEP, 2016).

Um ano após a descoberta de Roentgen, Henri Becquerel, um cientista francês, colocou alguns filmes fotográficos em uma gaveta junto a fragmentos de um mineral contendo Urânio. Quando ele revelou os filmes descobriu, para sua surpresa, que estes foram afetados pela radiação. O fenômeno foi chamado de *radioatividade* e ocorre quando energia é liberada de um átomo espontaneamente, sendo medida nos dias de hoje em unidades denominadas becquerel (Bq), após a descoberta de Henri Becquerel (UNEP, 2016).

Logo depois, uma jovem química, Marie Sklodowska-Curie, continuando essa pesquisa foi a primeira a usar o termo radioatividade. Em 1898, ela e o marido, Pierre Curie, descobriram que à medida que o Urânio liberava radiação, misteriosamente se transformava em outros elementos, um dos quais foi denominado Polônio em homenagem à terra natal de Marie Curie, e outro elemento foi chamado de Rádio. Marie Curie dividiu o Prêmio Nobel de física, em 1903, com Pierre Curie e Henri Becquerel. Ela foi a primeira mulher a ganhar o Nobel uma segunda vez, em 1911, por descobertas na química da radiação (UNEP, 2016).

Com as pesquisas e com o uso de materiais radioativos seus efeitos também começaram a ser notados. Em 1901, Becquerel sofreu queimaduras por causa de um frasco de Rádio que levava no bolso; Pierre Curie queimou seu braço intencionalmente. Estes fatos levaram à ideia de que o Rádio tinha propriedades medicinais. Curie levou o Rádio ao Hospital S. Louis (Paris), onde se iniciou a aplicação em doenças dermatológicas. A pesquisa mostrou que os raios do Rádio tinham efeito bactericida. Sementes perdiam o poder de germinação, protozoários mostravam anormalidades e retardo no desenvolvimento. Nas duas décadas seguintes, vários eventos aconteceram: fontes poderosas de Raios X e Gama foram estudadas; gramas de Ra foram isoladas; fontes de alta tensão como as de Van der Graaf foram construídas; em 1931, E. O. Lawrence e colaboradores iniciaram o desenvolvimento do acelerador linear, que levou à invenção de Ciclotrons; radioisótopos como Ouro-198, Cobalto-60, Césio-137 e Estôncio-90 tornaram-se disponíveis em larga escala. Os riscos do uso da radiação começaram a ser reconhecidos e procedimentos de proteção foram estabelecidos desde 1926 (UNEP, 2016).

Hoje sabemos que a energia da radiação pode danificar o tecido vivo, e a quantidade de energia acumulada neste tecido vivo é expressa em termos de uma unidade denominada *dose*. A *dose de radiação* pode vir de qualquer radionuclídeo ou de certo número de radionuclídeos, quer estes permaneçam fora do corpo ou o irradiem por dentro como, por exemplo, após inalação ou ingestão, sendo denominado incorporação. As quantidades, unidades de *doses* podem ser expressas de diferentes formas, dependendo de quanto o corpo, ou alguma parte do corpo, tenha sido irradiado, se uma ou muitas pessoas foram expostas e, ainda, da duração do período de exposição (p.ex. exposição aguda, fracionada) (UNEP, 2016).

A quantidade de energia da radiação que é absorvida por quilograma de tecido é chamada de *dose absorvida* e é expressa em uma unidade denominada gray (Gy), em homenagem ao físico inglês, Harold Gray, pioneiro em biologia da radiação. Porém, a mesma dose proveniente de diferentes tipos de radiação pode causar danos distintos ao tecido, por exemplo, partículas alfa podem causar maior dano do que aqueles provenientes de partículas beta, ou de raios gama. Para comparar *doses absorvidas* resultantes de diferentes tipos de radiação, estas precisam ser ponderadas por seu potencial de causar certos tipos de danos biológicos. Essa dose

ponderada é denominada *dose equivalente*, a qual é avaliada em uma unidade denominada Sievert (Sv), em homenagem ao cientista sueco Rolf Sievert (UNEP, 2016).

Outra consideração importante é a de que algumas partes do corpo são mais vulneráveis, ou sensíveis à radiação, do que outras. Por exemplo, uma dada *dose equivalente* de radiação é mais provável que possa induzir um câncer no pulmão do que no fígado, sendo os órgãos reprodutores os de particular preocupação devido ao risco de efeitos hereditários. Então, a fim de comparar doses quando diferentes tecidos e órgãos são irradiados, as *doses equivalentes* para diferentes partes do corpo são também ponderadas, sendo o resultado denominado *dose efetiva*, também expressa em Sievert (Sv). Este complexo sistema de grandezas em radiação é necessário para colocá-las em uma estrutura coerente, permitindo que os especialistas em proteção radiológica registrem as *doses individuais* de forma consistente e comparável, o que é de extrema importância para as pessoas que trabalham com radiação e que estão, ou podem estar, sujeitas à exposição ocupacional (UNEP, 2016).

## II. Contextualização Legal

A Portaria n.º 3.393, de 17 de dezembro de 1987, dispunha que o trabalho com substâncias radioativas e radiação ionizante conferiam ao trabalhador o direito ao adicional de periculosidade.

O artigo 1.º da Portaria n.º 496, de 11 de dezembro de 2002, revogou a Portaria n.º 3.393/87. Um dos fundamentos para revogar Portaria n.º 3.393/87 foi “que a caracterização dessas atividades como perigosas, nos termos da Portaria n.º 3.393, dezembro de 1987, não encontra amparo no art. 193, *caput*, da Consolidação das Leis do Trabalho” (CLT, 2017).

A portaria 518/2003 sucessora da portaria 3393/87, foi aprovada porque em setembro de 1987 aconteceu o acidente com o Césio-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) em Goiânia, capital do Estado de Goiás, Brasil. Esse acidente mobilizou a população e muitas inverdades foram criadas a respeito de materiais radioativos e da radiação ionizante para diagnóstico. O manuseio indevido de um aparelho de radioterapia abandonado, onde funcionava o Instituto Goiano de Radioterapia, gerou um acidente que envolveu direta e indiretamente centenas de pessoas. Existia uma fonte de radioatividade de 50.9 Tbq (1375 Ci) que continha cloreto de césio, composto químico de alta solubilidade. Nesse acidente o isótopo radioativo artificial do Césio foi espalhado especificamente naqueles locais onde foram levadas as várias partes do aparelho de radioterapia. Esse acidente ocorreu por uma conjugação de fatores: abandono do equipamento, rompimento da cápsula e disseminação do conteúdo no ambiente. Além disso, no acidente de Goiânia, o material radioativo estava presente em um aparelho de radioterapia, não de Raios X. Sendo assim várias confusões foram criadas naquela época.

O artigo 2.º da Portaria n.º 518, de 4 de abril de 2003, previu novamente o direito ao adicional de periculosidade em relação a atividades descritas no quadro do anexo S/N, que são as atividades e operações com radiações ionizantes ou substâncias radioativas. O artigo 4.º da referida portaria revogou a Portaria n.º 496/02.

Este retorno da obrigação legal, não observou o processo de criação e revisão das Normas Regulamentadoras, instituído pela Portaria SSST n.º 02, de 10 de abril de 1996, cujo texto publicado pela Portaria n.º 518/2003 deveria ter sido objeto de um prévio debate perante a Comissão Tripartite Paritária Permanente (CTPP), fórum de diálogo social, com representação de governo, trabalhadores e empregadores. Portanto, seu retorno ao ordenamento jurídico não acatou ao preconizado pela convenção n.º 144 - Consultas Tripartites sobre Normas Internacionais do Trabalho e pela convenção n.º 155 - Segurança e Saúde dos Trabalhadores, da Organização Internacional do Trabalho (OIT), ambas ratificadas pelo Brasil.

A Convenção n.º 115 da Organização Internacional do Trabalho (OIT), que trata da proteção dos trabalhadores quanto aos efeitos das radiações ionizantes, foi aprovada pelo Decreto Legislativo n.º 2, de 7 de abril de 1964, e promulgada pelo Decreto n.º 62.151, de 19 de janeiro de 1968. Não há menção sobre adicional de periculosidade para trabalho com radiações ionizantes ou substâncias radioativas. Ressalta-se que o Brasil é signatário da OIT.

Importante salientar novamente que o conceito de periculosidade diz respeito a riscos imediatos à vida e que impliquem risco acentuado em virtude de exposição permanente do trabalhador, conforme a artigo 193 da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT, 2017) e, que os riscos potenciais à saúde são tratados então no Anexo 5 da Norma Regulamentadora NR 15 - Atividades e Operações Insalubres (ME, 2019) e são

considerados como insalubridade por radiações ionizantes, que remete à Norma da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) CNEN-NN-3.01(CNEM, 2014).

Além da portaria n.3393/87 e atual portaria n.518/2003 não ter observado os processos legais de criação e revisão das Normas Regulamentadoras é de suma importância destacar que também ocorrem muitos equívocos na sua interpretação, um deles por exemplo é considerar que as clínicas de diagnóstico médico e odontológico, durante o atendimento aos pacientes, fazem isso em atividades/áreas de risco que incluem substâncias radioativas conforme descrito no item 4.1 do seu anexo S/N. Ou seja, o item 4.1 do anexo S/N quando inclui o diagnóstico médico e odontológico e o relaciona com “laboratórios de testes ensaios e calibração com as fontes de radiação descritas”, está citando que as atividades de testes, ensaios e calibração dos equipamentos são realizadas em áreas de risco, porém isso não ocorre no mesmo local de atendimento dos pacientes, mas sim em instalações (laboratórios) devidamente licenciados para essas finalidades e não nas instalações licenciadas para realizações de exames complementares no diagnóstico médico e odontológico.

O inciso II do parágrafo único do artigo 87 da Constituição Federal dispõe que compete ao Ministro de Estado expedir instruções para a execução das leis, decretos e regulamentos. Portarias do poder executivo devem estar de acordo com a lei, se elas excedem os limites da lei, regulamentam em demasia, por consequência estão eivadas de legalidade. Assim, assevera o artigo 114 da Lei n.º 8.112/90 que “a administração deverá rever seus atos, a qualquer tempo, quando eivados de ilegalidade”.

### **III. Estabelecimento de entidades internacionais e nacionais visando à proteção do ser humano e do meio ambiente**

Após a descoberta da radiação, seu uso crescente e alguns efeitos observados geraram preocupação em vários países, levando à criação de organizações internacionais voltadas a estudos dos efeitos da radiação e a mecanismos de proteção necessários ao seu uso seguro.

A Comissão Internacional de Proteção Radiológica (*International Commission on Radiological Protection – ICRP*) foi estabelecida em 1928, no 2º Congresso Internacional de Radiologia, visando responder às preocupações crescentes sobre os efeitos da radiação ionizante observados pela comunidade médica. Originalmente, a ICRP publicou suas recomendações na forma de artigos em várias revistas científicas dos campos da medicina e da física. Desde 1959, a ICRP tem sua própria série de publicações, e desde 1977 estas se encontram na forma de uma revista científica, *Annals of the ICRP*, agora publicada pela SAGE (<http://www.icrp.org>).

Após o advento das Bombas Atômicas de Hiroshima e Nagasaki, em 1955 foi criado o Comitê Científico das Nações Unidas sobre os Efeitos da Radiação Atômica (*United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation - UNSCEAR*) pela Assembleia Geral das Nações Unidas, visando coletar e avaliar informações sobre as fontes, os níveis de exposição e efeitos das radiações ionizantes na população e no meio ambiente. O comitê original foi composto por cientistas de 15 Estados membros da Organização das Nações Unidas (ONU): Argentina, Austrália, Bélgica, Brasil, Canadá, Checoslováquia, Egito, França, Índia, Japão, México, Suécia, Reino Unido, EUA e URSS. Atualmente são 31 membros representantes de seus respectivos Estados: Argélia, Alemanha, Argentina, Austrália, Bielorrússia, Bélgica, Brasil, Canadá, China, Egito, Emirados Árabes Unidos, Eslováquia, Espanha, EUA, Federação Russa, Finlândia, França, Índia, Indonésia, Japão, México, Noruega, Paquistão, Peru, Polônia, Reino Unido, República da Coreia, República Islâmica do Irã, Sudão, Suécia, Ucrânia. Os representantes e consultores que colaboram com os estudos e recomendações publicadas pelo Comitê são nomeados pelos estados membros da ONU, incluindo o Brasil. Vários relatórios e estudos são publicados pelo UNSCEAR, incluindo análises dos acidentes ocorridos nas usinas nucleares de Chernobyl e Fukushima-Daiichi (UNSCEAR, 2019). Cabe destacar a última publicação deste Comitê (UNSCEAR 2021) referente às exposições ocupacionais da população mundial a fontes artificiais aplicadas nos mais diversos setores de uso das radiações ionizantes. O documento fornece base científica e estimativas das doses ocupacionais nos setores nuclear, médico, industrial, mineração e processamento de urânio, uso militar e mesmo em pesquisa.

Os relatórios do UNSCEAR são base científica para as recomendações publicadas pela ICRP que, por conseguinte, servem de base para as publicações de recomendações e normas da Agência Internacional de

Energia Atômica (*International Atomic Energy Agency – IAEA*), geralmente adotadas pelos países membros signatários. A IAEA foi fundada em julho de 1957 e é uma organização das Nações Unidas com sede em Viena, na Áustria. Atualmente, 138 nações participam da IAEA, que se identifica como um fórum tecnológico e científico para o uso pacífico da energia atômica e, ainda, para a fiscalização de material apropriado à fabricação de armas nucleares.

Dessa forma, enquanto a IAEA tem a responsabilidade de desenvolver e promover a aplicação de normas internacionais de segurança contra os efeitos das radiações, a comunicação das provas científicas necessárias é realizada pelo UNSCEAR. Outras agências da ONU também têm interesse no tema e participam da elaboração de normas e regulamentos, incluindo a Organização Internacional do Trabalho (*International Labor Organization – ILO*) e a Organização Mundial de Saúde (*World Health Organization – WHO*). Por exemplo, a ILO adotou a *Convention 1964 (Nº121)* que publicou uma lista de doenças ocupacionais, incluindo as causadas por radiações ionizantes; a Agência Internacional para Pesquisa do Câncer (*International Agency for Research on Cancer - IARC*) relatou análises combinadas de mortalidade por câncer entre trabalhadores (ILO, 2010).

O Brasil, como país pertencente à ONU e signatário dos acordos de cooperação, criou em 10 de outubro de 1956 a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), autarquia federal vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação (MCTI) desde 1999, como órgão responsável por regular as atividades nucleares no País. A CNEN estabelece normas e regulamentos em radioproteção e segurança nuclear, desenvolvendo pesquisas voltadas à utilização de técnicas nucleares em benefício da sociedade, além de assessorar o MCTI na formulação da Política Nacional de Energia Nuclear. Compete também à instituição exercer o controle das atividades nucleares de maneira a garantir o uso seguro e pacífico da energia nuclear. Para tanto, licencia e controla instalações nucleares e radiativas, sejam da área médica, industrial, de pesquisa, mineração, ciclo do combustível nuclear ou geração de eletricidade. Certifica e credencia os profissionais que atuam nessas instalações e, ainda, responde pelo destino dos rejeitos gerados. A CNEN conta com 14 unidades localizadas em nove estados brasileiros. Por meio de seus cinco Institutos de Pesquisa (Minas Gerais, Goiás, Rio de Janeiro, São Paulo e Pernambuco), realiza pesquisa e desenvolvimento em praticamente todos os setores das ciências nucleares e, ainda, em áreas correlatas. Para multiplicar e difundir os conhecimentos adquiridos, conta com atividades de formação especializada que vão de cursos de treinamento e de especialização, a cursos de pós-graduação de mestrado e doutorado (CNEN, 2019).

#### IV. Radiação como parte da vida cotidiana

A radiação ionizante faz parte do ambiente de vida da raça humana como, por exemplo, os raios cósmicos e materiais radioativos de ocorrência natural no solo, na água e mesmo em alimentos. Podem ser incluídos os raios X e os raios gama (isto é, radiação eletromagnética) bem como radiação corpuscular (isto é, partículas subatômicas: alfa, beta e radiação de nêutrons). Fontes radioativas são usadas em todo o mundo para uma ampla variedade de propósitos benéficos à sociedade, como na indústria, medicina, agricultura, pesquisa e educação (UNEP, 2016).

#### A definição de uma fonte

A ICRP utiliza o termo *fonte* para indicar qualquer entidade física ou procedimento que resulte em uma *dose de radiação* potencialmente quantificável para uma pessoa, ou grupo de pessoas. Pode ser uma fonte física (por exemplo, material radioativo ou um equipamento de raios X), uma instalação (por exemplo, um hospital ou uma usina nuclear) ou procedimentos ou grupos de fontes físicas com características semelhantes (por exemplo, procedimentos de medicina nuclear ou radiação ambiental) (ICRP, 2007). Em geral, a definição de uma fonte está ligada à seleção das exposições relevantes e da estratégia de proteção, conforme apropriado, para otimização desta exposição (ICRP, 2007).

O uso dessas fontes envolve riscos associados à exposição à radiação. Tendo em conta o crescente número de situações de trabalho em que a radiação ionizante é encontrada, é cada vez mais importante que os trabalhadores sejam adequadamente protegidos. A proteção contra radiações faz parte dos domínios de ação da ILO sobre a proteção dos trabalhadores contra doenças e lesões resultantes do seu emprego. Em junho de

1960, a Conferência Internacional do Trabalho adotou a Convenção sobre a Proteção Radiológica de Trabalhadores (*Radiation Protection Convention N°115, 1960*) e suas recomendações de acompanhamento ([Radiation Protection Recommendation N°114, 1960](#)) (ILO, 2010).

A relação entre a exposição e a gravidade do comprometimento da saúde, além do número de trabalhadores expostos, são critérios importantes para avaliação de doenças ocupacionais. Em 1964, a Conferência Internacional do Trabalho aprovou o documento *Employment Injury Benefits Recommendation N°121* que estabelece recomendações em relação aos benefícios em caso de lesões relacionadas ao emprego. A Convenção N°121 apresenta uma lista de doenças ocupacionais que poderiam dar direito a algum benefício, onde doenças causadas por exposição à radiação ionizante no local de trabalho estão incluídas (ILO, 1964).

## Fontes Naturais

Porém, como afirmado anteriormente, a radiação é parte da vida. O último levantamento sobre as doses de radiação devidas à radiação natural realizada pelo UNSCEAR (2021) chegou a uma dose efetiva anual média no mundo de 2,4 mSv, sendo que há grande variação de doses individuais devido ao local onde as pessoas habitam. Em qualquer população, cerca de 65% apresentam doses efetivas anuais entre 1 mSv e 3 mSv, cerca de 25% da população apresenta doses efetivas anuais menores que 1 mSv, e 10% doses efetivas anuais superiores a 3 mSv (ICRP, 2007).

## V. Efeitos das radiações ionizantes

Os efeitos biológicos induzidos pela radiação ionizante podem receber denominações distintas em função da dose de radiação recebida e forma de resposta do tecido irradiado, ainda em função do tempo de manifestação de alguma reação tecidual e do nível orgânico atingido. Assim, em função da dose e forma de resposta, os efeitos são classificados em *estocásticos* e *determinísticos (ou teciduais)*; em termos do tempo de manifestação, em *imediatos* e *tardios*; em função do nível de dano, em *somáticos* e *genéticos* (hereditários) (Tahuata et al, 2014).

### Efeitos Determinísticos ou teciduais

São efeitos causados pela irradiação total ou localizada de um tecido, causando certo grau de morte celular não compensado pela reposição ou pelo reparo celular, com prejuízos detectáveis no funcionamento do tecido ou órgão irradiado. Existe um limiar de dose abaixo do qual a perda celular é insuficiente para prejudicar o tecido ou órgão de forma detectável. Isto significa que os efeitos *determinísticos* são produzidos por doses elevadas, acima de certo valor (limiar), onde a severidade ou gravidade do dano aumenta com a dose recebida. A probabilidade do efeito *determinístico*, assim definido, é considerada nula para valores de dose abaixo do limiar, e 100 % quando acima deste valor. Porém, diferentes tecidos apresentam limiares distintos, como apresentado na publicação ICRP 118 (ICRP, 2012). A severidade do efeito também será função da susceptibilidade do órgão ou do indivíduo irradiado, além do tipo e energia da radiação emitida (Tahuata et al, 2014).

Esses efeitos podem ocorrer em período de poucas horas até algumas semanas após a exposição, sendo denominados também como efeitos *imediatos*; como por exemplo, pode-se citar a radiodermite após exposição ao certo limiar de dose da pele. Atualmente os efeitos determinísticos têm sido denominados como *reações teciduais* já que há comprovação científica de que alguns destes efeitos não são determinados apenas no momento da irradiação, mas podem ser modificados ao longo do tempo, ou seja, não são realmente *imediatos*. Exemplos de efeitos determinísticos na pele são eritema e descamação seca para doses absorvidas na pele entre 3 e 5 Gy, com sintomas aparecendo após 3 semanas; descamação úmida acima de 20 Gy, com bolhas após 4 semanas; necrose para dose acima 50 Gy, após 3 semanas (Tahuata et al, 2014).

Se as doses forem muito altas, predominam os efeitos *determinísticos*, e as lesões serão severas ou até letais. Para doses intermediárias, predominam os efeitos *determinísticos* com grau de severidade menor, e não necessariamente permanentes. Poderá haver, entretanto, uma probabilidade grande de lesões severas em longo prazo. As lesões são função da sensibilidade do órgão e se a exposição ocorreu de forma aguda, fracionada ou crônica. A Tabela 1 apresenta alguns efeitos atribuídos a limiares de dose absorvida em órgãos específicos, considerando a probabilidade de incidência de 1% (ICRP, 2012).

Tabela 1. Estimativas de limiares de dose para mortalidade em adultos expostos à irradiação aguda, fracionada ou prolongada e crônica (ICRP 118, 2012).

Efeito	Órgão/ Tecido	Tempo para desenvolver o efeito	Dose absorvida resultante em ~1% incidência		
Mortalidade			Exposição aguda (Gy)	Altamente Fracionada (frações 2 Gy)	Taxa de dose (crônica) por muitos anos (Gy/ano)
<b>Síndrome da medula óssea</b>					
Sem cuidado médico	Medula óssea	30 – 60 dias	~1	10	Não disponível
Com bom cuidado médico	Medula óssea	30 – 60 dias	2 a 3	>10	Não disponível
<b>Síndrome gastrointestinal</b>					
Sem cuidado médico	Intestino delgado	6 – 9 dias	~6	Não disponível	Não disponível
Com bom cuidado médico	Intestino delgado	6 – 9 dias	>6	40	Não disponível
<b>Pneumonite – dose média pulmões</b>	Pulmões	1 – 7 meses	7 a 8	15	Não disponível
<b>Doença cardiovascular- exposição de corpo inteiro</b>	Coração	>10 - 15 anos	~0,5	~0,5	~0,5 dividido pelos anos de duração
<b>Doença cerebrovascular</b>	Artéria carótida	>10 anos	~0,5	~0,5	~0,5 dividido pelos anos de duração

A mortalidade após a irradiação é geralmente o resultado de uma depleção celular grave em tecidos, ou outra disfunção importante de um ou mais órgãos vitais do corpo. Depois de irradiação parcial do corpo ou irradiação não homogênea de corpo inteiro, a probabilidade de morte de um indivíduo dependerá dos órgãos específicos expostos, do volume irradiado e do nível de dose. Após a irradiação do corpo inteiro homogênea, por exemplo, com feixe de fótons penetrantes acima de cerca de 1 MeV de energia, a morte pode ocorrer por uma de várias síndromes distintas, que são características de doses específicas causadas por lesões em sistemas orgânicos importantes. A Tabela 2 apresenta alguns exemplos de doses resultantes de exposição de corpo inteiro e os efeitos observados (ICRP, 2007).

Tabela 2. Intervalo de doses associadas a síndromes específicas induzidas por radiação e morte em seres humanos expostos a irradiação aguda uniforme de corpo inteiro (ICRP, 2007).

Dose absorvida de corpo inteiro (Gy)	Efeito principal que contribui para óbito	Tempo para óbito após exposição (dias)
3 - 5	Dano à medula óssea	30 - 60
5 - 15	Dano ao trato gastrointestinal	7 - 20
5 - 15	Dano aos pulmões e rins	60 - 150
$\geq 15$	Danos ao sistema nervoso	< 5, dose dependente

## Efeitos Estocásticos

São efeitos em que a probabilidade de ocorrência é proporcional à dose de radiação recebida, sem a existência de limiar. Isto significa que doses pequenas, abaixo dos limites estabelecidos por normas e recomendações de proteção radiológica, podem induzir tais efeitos, mesmo que com baixa probabilidade. Entre estes efeitos, destaca-se o câncer. A probabilidade de ocorrência de um câncer radioinduzido depende do número de clones de células modificadas no tecido ou órgão irradiado, uma vez que depende da sobrevivência de pelo menos um deles para garantir a progressão de um defeito. O período de aparecimento (detecção) do câncer após a exposição pode chegar a até 40 anos, sendo considerada a média de latência entre os diferentes tipos de câncer de 15 anos. No caso da leucemia, a frequência passa por um máximo entre 5 e 7 anos, com período de latência de 2 anos (Tahuata et al, 2014).

Os efeitos estocásticos aparecem depois de anos, ou mesmo décadas, sendo também denominados de efeitos *tardios* como, por exemplo, o câncer. Para baixas doses, não existem efeitos imediatos desde que estas não alcancem o valor limiar de efeitos determinísticos (Tahuata et al, 2014).

Os efeitos tardios, principalmente o câncer, podem tornar a implantação de critérios de segurança no trabalho com radiações ionizantes árduo. O avanço científico na epidemiologia e na medicina genética atual ainda não estabelece critérios clínicos porque, quando os sintomas aparecem, o grau de dano causado já pode ser severo, irreparável e até letal. Não existe comprovação científica atual para marcadores de cânceres induzidos por radiação para baixas doses, de até 100 mSv. Trabalha-se com probabilidades de ocorrência, onde fatores externos e inerentes ao indivíduo (genéticos, modo de vida, entre outros) e ao ambiente onde este habita, também devem ser considerados. Em princípio, pode ser possível ter um critério biológico e espera-se algum dia identificar uma mudança biológica no ser humano que corresponda a uma mudança abaixo do grau de lesão. Por enquanto, utilizam-se hipóteses estabelecidas sobre critérios físicos, extrapolações matemáticas e comportamentos estatísticos (UNSCEAR, 2012).

A relação causal entre a exposição à radiação ionizante e os efeitos determinísticos para a saúde do indivíduo é relativamente fácil de ser estabelecida. Porém, o câncer é uma doença frequente e muitos fatores contribuem para o seu desenvolvimento. Na ausência de um marcador de radiação para identificar exatamente aqueles indivíduos que foram afetados por sua exposição ocupacional à radiação ionizante, será difícil distinguir os cânceres atribuíveis à exposição ocupacional e diferenciá-los da incidência esperada de cânceres desenvolvidos por outras razões (UNSCEAR, 2012).

A limitação da exposição parece ser a forma mais segura de proteção ao trabalhador e tem sido adotada pela ICRP desde seus primórdios (ICRP, 2007).

## VI. O sistema de proteção radiológica aplicado ao indivíduo

Todos os seres vivos são expostos à radiação ionizante proveniente de fontes naturais e artificiais. É conveniente pensar nos processos que causam estas exposições humanas como uma rede de eventos e situações, onde cada parte da rede começa a partir de uma fonte. Assim, a exposição de indivíduos à radiação, ou a materiais radioativos, pode levar a *doses* para esses indivíduos. Portanto, a proteção deste indivíduo pode ser alcançada através de uma ação relativa à fonte, ou em pontos específicos de possíveis vias de exposição, modificando sua localização ou promovendo a proteção segundo as características desta exposição (ICRP, 2007).

A relação proporcional entre um incremento de *dose* e consequente aumento do *risco* do surgimento de efeitos permite lidar separadamente com diferentes partes dessa rede de eventos e situações que possam levar à exposição, selecionando as partes que sejam mais relevantes em uma determinada situação. Para fazer essa seleção, no entanto, é necessário definir, para cada parte da rede, os objetivos, as organizações (e indivíduos) responsáveis pela proteção, suas linhas de responsabilidade e, ainda, a viabilidade de obter as informações necessárias às estimativas de dose e risco (ICRP, 2007).

Em qualquer situação, os princípios de proteção radiológica são aplicados.

- *O princípio da justificção*: Qualquer decisão que altere a situação de exposição à radiação deve trazer maior benefício do que malefício (ICRP, 2007).

Isto significa que, introduzindo uma nova fonte de radiação, reduzindo a exposição existente, ou reduzindo o risco de exposição potencial, deve-se alcançar algum benefício social para compensar o prejuízo que esta possa causar (ICRP, 2007).

- *O princípio da otimização da proteção*: em haver probabilidade de incorrer em exposição, o número de pessoas expostas e a magnitude de suas doses individuais devem ser mantidos tão baixos quanto razoavelmente possível, levando-se em consideração fatores sociais e econômicos (ICRP, 2007).

Isto significa que o nível de proteção deve ser o melhor sob as circunstâncias prevalecentes, maximizando a margem de benefício sobre o dano. Para evitar resultados severamente injustos deste procedimento de otimização, deve haver *restrições sobre as doses* ou *riscos* para os indivíduos em relação a uma determinada fonte (*restrições de dose* ou de *risco* e *níveis de referência*) (ICRP, 2007).

A otimização destina-se sempre a atingir o melhor nível de proteção por meio de um processo contínuo e interativo que envolve: avaliação da situação de exposição, incluindo quaisquer *exposições potenciais*; seleção de um valor apropriado para a *restrição de dose* ou *nível de referência*; identificação de possíveis opções de proteção; seleção da melhor opção sob as circunstâncias prevalecentes; e implementação da opção selecionada (ICRP, 2007).

- *O princípio de aplicação dos limites de dose*: A dose total para qualquer indivíduo proveniente de fontes regulamentadas, em situações de exposição planejadas que não sejam a exposição médica de pacientes, não deve exceder os limites recomendados pela ICRP (ICRP, 2007).

Os limites de dose são determinados pela entidade reguladora, baseada nas recomendações internacionais, e aplicam-se aos trabalhadores e aos membros do público em situações de exposição planejadas (ICRP, 2007).

Um indivíduo pode estar sujeito a diferentes categorias de exposição que devem ser consideradas separadamente. Por exemplo, um trabalhador que está exposto à radiação como parte de seu trabalho também estará exposto às fontes naturais como membro do público, e às exposições médicas enquanto paciente. Dessa forma a ICRP 103 (ICRP, 2007) estabeleceu três tipos distintos de exposição: *ocupacional*, *médica* e *do público*. Atualmente, o sistema internacional de proteção radiológica recomenda uma abordagem baseada em processos em que estes três tipos de situação de exposição à radiação possam ocorrer, ou seja, em *exposições planejadas*, em *exposições em situações de emergência* e em *exposições existentes* (ICRP, 2007).

## Tipos de Situação de Exposição

*Situações de exposição planejada* são situações que envolvem a introdução deliberada e a operação de fontes. As situações de exposição planejada podem dar origem a exposições previstas de que ocorram (exposições normais) e exposições que não se preveem que ocorram (exposições potenciais) (ICRP, 2007).

*Situações de exposição de emergência* são situações que podem ocorrer durante a operação de uma situação planejada, de um ato malicioso ou de qualquer outro ato inesperado. São situações em que se exige ações urgentes para evitar ou reduzir consequências indesejáveis. Os princípios de proteção para *situações planejadas* também se aplicam à *exposição ocupacional* relacionada a *situações de exposição de emergência* (ICRP, 2007).

Situações de *exposição existentes* são situações de exposição que já existem (por exemplo, áreas com alta concentração de radionuclídeos naturais) quando uma decisão de controle deva ser tomada, incluindo situações de exposição prolongada após emergências (ICRP, 2007).

Dessa forma, a exposição ocupacional resulta de *práticas* onde se poderiam observar situações de exposição *planejadas*, *emergenciais* e *existentes* (ICRP, 2007).

## Categorias de exposição

A ICRP distingue as três categorias de exposições em relação ao risco: *exposições ocupacionais*, *exposições do público* e *exposições médicas* de pacientes.

### - Exposições ocupacionais

A exposição profissional é definida pela ICRP como toda exposição à radiação de trabalhadores incorrida como resultado de seu trabalho. Essa definição também é adotada como definição convencional de *exposição ocupacional* a qualquer agente perigoso, incluindo todas as exposições no trabalho, independentemente de sua origem. No entanto, por causa da onipresença da radiação, a aplicação direta dessa definição à radiação significaria que todos os trabalhadores estariam sujeitos a um regime de proteção radiológica. A ICRP, portanto, limita o uso de *exposições ocupacionais* a exposições às radiações incorridas no trabalho como resultado de situações que possam ser razoavelmente consideradas como sendo de responsabilidade do gerenciamento operacional (ICRP, 2007).

Dessa forma, o *empregador* é o principal responsável pela proteção dos trabalhadores. No entanto, o *licenciado* responsável pela fonte (se não for idêntico ao empregador) também é responsável pela proteção radiológica dos trabalhadores (ICRP, 2007; ILO, 2010).

### - Exposição do público

A exposição do público engloba todas as exposições que não sejam exposições ocupacionais e exposições médicas de pacientes. Pode ocorrer como resultado de uma variedade de fontes de radiação. O componente de exposição do público devido às fontes naturais é de longe o maior, mas isso não fornece nenhuma justificativa para reduzir a atenção dada a exposições menores, porém mais prontamente controláveis (ICRP, 2007).

## - Exposição médica de pacientes

As exposições à radiação dos pacientes ocorrem em exames diagnósticos, intervencionistas e em procedimentos terapêuticos. Existem várias características das práticas radiológicas em medicina que requerem uma abordagem que difere da proteção radiológica em outras situações de exposição planejadas. A exposição médica é intencional e para benefício direto do paciente. Particularmente na radioterapia, os efeitos biológicos da radiação de altas doses, por exemplo, têm como objetivo matar células tumorais, sendo utilizadas para o benefício do paciente para tratar o câncer, ou outra doença. A aplicação de recomendações para uso médico da radiação requer, portanto, orientação separada para as exposições médicas das estabelecidas para exposições ocupacionais e do público (ICRP, 2007).

### A identificação dos indivíduos expostos

É necessário abordar separadamente pelo menos três categorias de indivíduos, nomeadamente o trabalhador, o público e o paciente. Eles essencialmente correspondem aos indivíduos cujas exposições se enquadram nas três categorias de exposição já relatadas. Um determinado indivíduo pode ser exposto como trabalhador e/ou como membro do público e/ou como paciente (ICRP, 2007).

Um trabalhador é definido pela ICRP como qualquer pessoa que esteja exposto à radiação, seja durante todo o tempo, em tempo parcial ou temporário, em seu emprego e que tenha reconhecido seus direitos e deveres em relação à proteção radiológica ocupacional. Um profissional autônomo é considerado como tendo os deveres de um empregador e de um trabalhador. Trabalhadores em profissões médicas envolvendo radiação também são considerados como ocupacionalmente expostos (ICRP, 2007).

Uma função importante de um empregador e/ou licenciado é a de manter controle sobre as fontes de exposição e sobre a proteção dos trabalhadores ocupacionalmente expostos. Para consegui-lo, a ICRP recomenda a classificação das *áreas de trabalho*, e não a *classificação dos trabalhadores* (ICRP, 2007).

O órgão regulador deve exigir que as *áreas* de locais de trabalho contendo fontes sejam formalmente designadas, o que ajuda em seu controle. A ICRP utiliza duas dessas designações: *áreas controladas* e *áreas supervisionadas*. Uma *área controlada* é aquela na qual a proteção especifica medidas e disposições de segurança que são, ou poderiam ser, necessárias para controlar exposições ou impedir a propagação de contaminação durante condições normais de trabalho, e prevenir ou limitar a extensão das *exposições potenciais*. Uma *área supervisionada* é aquela em que as condições de trabalho são mantidas sob supervisão, mas procedimentos especiais de proteção normalmente não são necessários (ICRP, 2007).

Os trabalhadores cujos locais de trabalho se encontram em *áreas controladas* devem estar bem-informados e especialmente treinados, e formam um grupo prontamente identificável. Esses trabalhadores são mais frequentemente monitorados para exposições à radiação incorridas no local de trabalho e, ocasionalmente, recebem vigilância médica especial (ICRP, 2007; ILO, 2010).

Cabe ainda destacar que áreas não relacionadas como *controladas* ou *supervisionadas*, são consideradas *áreas livres* de risco de exposição, sendo neste caso os trabalhadores dessas áreas como *não ocupacionalmente expostos à radiação*.

## VII. Níveis de proteção radiológica

Para situações de *exposição planejada*, a restrição relacionada a uma *fonte* ou a uma *dose* que indivíduos possam receber é denominada *restrição de dose*. Para exposições potenciais, o valor correspondente a este conceito é a *restrição de risco*. Para situações de exposição de emergência e existentes, a restrição relacionada à fonte é o denominado *nível de referência*. Os conceitos *restrição de dose* e *nível de referência* são utilizados no processo de otimização da proteção para ajudar a garantir que *todas as exposições sejam mantidas o mais baixo possível*, levando em conta fatores sociais e econômicos (princípio *ALARA—As Low As Reasonably Achievable*). *Níveis de restrição* e *níveis de referência* podem ser descritos como partes-chave do

processo de otimização para garantirem níveis adequados de proteção. Estes níveis são considerados as ferramentas mais eficazes de proteção, independentemente da situação (ICRP, 2007).

## **Exposições Potenciais**

Em situações de exposição planejada espera-se que certo nível de exposição possa ocorrer. O processo de planejamento da proteção deve incluir a consideração de desvios dos procedimentos operacionais normais, incluindo acidentes e eventos maliciosos. As exposições que surjam dessas circunstâncias são referidas pela ICRP como *exposições potenciais*. As *exposições potenciais* não são planejadas, mas podem ser previstas. O projetista e o usuário de uma fonte devem, portanto, executar ações para reduzir a probabilidade de uma *exposição potencial* acontecer, tais como avaliar a probabilidade de um evento e introduzir salvaguardas de engenharia compatíveis com essa probabilidade (ICRP, 2007).

Portanto, as *exposições potenciais* devem ser consideradas na fase de planejamento de uma situação de *exposição planejada*. Deve-se conhecer o potencial, pois as exposições podem levar a ações para reduzir a probabilidade de ocorrência de eventos, e limitar e reduzir a exposição (mitigação), se algum evento ocorrer. Deve ser dada a devida atenção a *exposições potenciais* durante a aplicação dos princípios de justificação e otimização (ICRP, 2007).

A *exposição potencial* abrange amplamente três tipos de eventos (ICRP, 2007):

- Eventos em que as *exposições potenciais* afetariam principalmente indivíduos que estão também sujeitos a *exposições planejadas*. O número de indivíduos afetados geralmente é pequeno, e o prejuízo envolvido é o *risco à saúde* das pessoas diretamente expostas. Os processos pelos quais essas exposições ocorrem são relativamente simples, por exemplo, o potencial ingresso em uma sala de irradiação em operação, desde que este indivíduo não respeite os procedimentos de segurança implementados (*interlocks*, avisos sonoros, sinalização).
- Eventos em que as *exposições potenciais* possam afetar um número maior de pessoas e não envolvam apenas *riscos à saúde*, mas também outros malefícios, como a terra contaminada e a necessidade de controlar o consumo de alimentos. Os mecanismos envolvidos são complicados e um exemplo é o potencial de um acidente grave em um reator nuclear, ou o uso malicioso de material radioativo que se alastre no meio ambiente.
- Eventos nos quais as *exposições potenciais* podem afetar o futuro, e as doses devem ser gerenciadas durante longos períodos de tempo, por exemplo, no caso de eliminação de resíduos sólidos em repositórios profundos, onde incertezas consideráveis podem envolver exposições em um futuro distante.

## **Avaliação de *exposições potenciais***

A avaliação de *exposições potenciais*, com objetivo de planejar ou julgar coerentes as medidas de proteção, geralmente se baseia (ICRP, 2007):

- a) na construção de cenários que se destinam tipicamente a representar uma sequência de eventos que leve às exposições;
- b) na avaliação das probabilidades de cada uma das sequências de eventos;
- c) na avaliação das doses resultantes;
- d) na avaliação dos detrimentos associados a essas doses;
- e) na comparação dos resultados com algum critério de aceitabilidade, por exemplo, requisitos normativos locais ou dados publicados em literatura;
- f) na otimização da proteção, o que pode exigir várias iterações das etapas anteriores.

As decisões sobre a aceitabilidade de *exposições potenciais* devem levar em conta a probabilidade de ocorrência da exposição e sua magnitude. A probabilidade resultante pode então ser comparada com uma *restrição de risco*, e se a probabilidade for menor que a *restrição de risco*, este pode ser tolerado (ICRP, 2007).

As *restrições de risco*, assim como as *restrições de dose*, estão relacionadas com a *fonte* e, em princípio, devem equivaler a um *risco à saúde* semelhante ao implícito nas *restrições de dose* correspondentes, para a mesma fonte. No entanto, pode haver grandes incertezas nas estimativas da probabilidade de ocorrência de uma situação insegura e, ainda, na dose resultante. Assim, muitas vezes é suficiente usar um valor genérico para uma *restrição de risco*. No caso dos trabalhadores, essa poderia basear-se em generalizações sobre *exposições ocupacionais normais*, em vez de basear-se em um estudo mais específico realizado para uma operação particular (UNSCEAR, 2000).

Para *exposições potenciais de trabalhadores* a ICRP recomenda uma restrição genérica ao *risco* de  $2.10^{-4}$  por ano, que é semelhante à probabilidade de câncer fatal associado a uma dose efetiva média ocupacional anual de 5 mSv (ICRP, 2007).

Se considerarmos os efeitos *estocásticos* de exposição à radiação, a ICRP propõe coeficientes de risco de detrimento para indução de câncer como  $5,5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$  para toda a população e  $4,1 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$  para trabalhadores adultos. Para efeitos hereditários, o risco de detrimento em toda a população é estimado em  $0,2 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ , e em trabalhadores adultos em  $0,1 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$  (Tabela 3) (ICRP, 2007).

Tabela 3. Coeficientes de risco nominal ajustados ao detrimento para efeitos *estocásticos* após exposição à radiação para baixa taxa de dose (ICRP, 2007).

População exposta	Câncer	Efeitos Hereditários	Total
Total	5,5	0,2	5,7
Adulto	4,1	0,1	4,1

A utilização da avaliação da probabilidade é limitada pela extensão em que eventos improváveis podem ser previstos. Em circunstâncias em que acidentes possam ocorrer como resultado de um amplo espectro de eventos iniciadores deve-se ter cautela sobre qualquer estimativa de probabilidades devido à incerteza de prever a existência de *todos* os eventos improváveis iniciadores. Em muitas circunstâncias mais informações podem ser obtidas para fins de tomada de decisão, considerando a probabilidade de ocorrência e as doses resultantes separadamente (ICRP, 2007).

Nas grandes instalações nucleares, os critérios de dose como base de concepção da prevenção de acidentes e mitigação podem ser prescritos pelo órgão regulador para possíveis *cenários potenciais de exposição*. Os critérios de dose aplicados aqui para *exposição potencial* devem derivar das *restrições de risco*, levando-se em consideração a probabilidade e severidade do acidente (ICRP, 2007).

## VIII. Limitação de dose

O sistema de limitação de dose no atual quadro de proteção contra as radiações está direcionado a assegurar que *efeitos determinísticos* sejam impedidos de ocorrer, enquanto a ocorrência de *efeitos estocásticos* seja mantida a um nível aceitável. Isso significa que a parcela atribuída para efeitos determinísticos é

efetivamente zero para indivíduos ocupacionalmente expostos quando as doses incorridas estão em conformidade com os limites de dose estabelecidos pelo órgão regulador (ICRP, 2007).

Por outro lado, a exposição acima do limite da dose significa que o sistema de proteção contra radiação foi *violado*. A ocorrência de tal situação (especialmente se o limiar de dose para o efeito for excedido), juntamente com o desenvolvimento real de um *efeito determinístico* (apropriadamente relacionado temporalmente à exposição), pode ser considerada como evidência que a exposição à radiação foi a causa deste efeito (ICRP, 2007).

Para que se possa comparar valores de dose efetiva ou equivalente, a Tabela 4 apresenta alguns valores considerados para classificação de doses quando em comparação com trabalhos em condições classificadas como normais, ou de rotina, do *indivíduo ocupacionalmente exposto* e, ainda, em condições de acidentes (UNSCEAR, 2012).

Tabela 4. Terminologia para faixas de dose de radiação em intervalos aproximados, valores de dose total absorvida (para todo o corpo, ou para um órgão ou tecido específico de um indivíduo) recebida em adição ao total da exposição à radiação de fundo devida a fontes naturais de radiação (UNSCEAR, 2012).

<b>Terminologia para doses</b>	<b>Faixa de Dose Absorvida para radiação de baixo LET</b>	<b>Cenário</b>
ALTA	Maior do 1 Gy	Dose típica (corpo inteiro ou parcial) para indivíduos que sofreram acidentes severos com radiação ou de radioterapia
MODERADA	100 mGy a 1 Gy	Dose de cerca de 100.000 trabalhadores de recuperação no acidente de Chernobyl
BAIXA	10 mGy a 100 mGy	Dose para um indivíduo que sofreu múltiplas exposições à tomografia computadorizada (TC)
MUITO BAIXA	Menor do que 10 mGy	Dose para um indivíduo procedente de um exame de radiologia

A Comissão Nacional de Energia Nuclear, órgão regulador brasileiro da área nuclear, estabelece em sua Norma Básica CNEN-NN-3.01 que “*a exposição normal dos indivíduos deve ser restringida de tal modo que nem a dose efetiva nem a dose equivalente em órgãos ou tecidos de interesse, causadas pela possível combinação de exposições originadas por práticas autorizadas, excedam o limite de dose especificado na tabela 1, salvo em circunstâncias especiais, autorizadas pela CNEN. Esses limites de dose não se aplicam às exposições médicas.*” Os valores estabelecidos pela CNEN são reportados na Tabela 5, a seguir (CNEN, 2014).

Tabela 5. Limites de Dose estabelecidos pela Norma CNEN-NN-3.01(CNEN, 2014).

<b>Limites de Dose anuais [a]</b>

Grandeza	Órgão	Indivíduo ocupacionalmente exposto	Indivíduo do público
Dose Efetiva	Corpo inteiro	20 mSv <sup>[b]</sup>	1 mSv <sup>[c]</sup>
Dose Equivalente	Cristalino	20 mSv <sup>[b]</sup>	15 mSv
	Pele <sup>[d]</sup>	500 mSv	50 mSv
	Mãos e pés	500 mSv	-

[a] Para fins de controle administrativo efetuado pela CNEN, o termo dose anual deve ser considerado como dose no ano calendário, isto é, no período decorrente de janeiro a dezembro de cada ano.

[b] Média aritmética em 5 anos consecutivos, desde que não exceda 50 mSv em qualquer ano.

[c] Em circunstâncias especiais, a CNEN poderá autorizar um valor de dose efetiva de até

5 mSv em um ano, desde que a dose efetiva média em um período de 5 anos consecutivos, não exceda a 1 mSv por ano.

[d] Valor médio em 1 cm<sup>2</sup> de área, na região mais irradiada.

Os limites de dose efetiva se aplicam à soma das doses efetivas causadas por exposições externas com as doses efetivas comprometidas (integradas em 50 anos para adultos e até 70 anos para crianças) causadas por incorporações de material radioativo, ocorridas no mesmo ano (CNEN, 2014).

### Trabalhadoras grávidas ou lactantes

Em geral, os limites de dose para exposição ocupacional se aplicam igualmente a trabalhadores do sexo masculino e feminino. No entanto, devido à possível relevância da maior sensibilidade do embrião ou do feto ou do lactente à radiação, controles adicionais devem ser considerados para trabalhadoras gestantes e lactantes (ICRP, 2007).

Para tanto, a notificação da trabalhadora ao seu empregador de que esta suspeita de uma gravidez, ou se esta estiver amamentando, deve ser realizada prontamente e não deve ser considerado motivo para excluir a trabalhadora de sua função. O empregador deve adaptar suas condições de trabalho em relação à exposição ocupacional, de modo a garantir que o embrião ou o feto, ou a criança amamentada, recebam o mesmo nível de proteção exigido para os indivíduos do público, ou seja, limitação de dose de 1 mSv/ano. Outra ferramenta importante de proteção seria a imposição de níveis de *restrição de dose* mais restritos, de forma a que as doses para o embrião ou feto, ou para a criança amamentada não ultrapassem este limite. Ainda, o empregador deve informar à trabalhadora da decisão de aplicar restrições mais rigorosas e fornecer treinamento adequado para que estas restrições não sejam ultrapassadas (IAEA, 2018).

### Trabalhadores itinerantes

Os trabalhadores que executam sua função em áreas supervisionadas ou controladas em várias instalações e, muitas vezes, não possuem vínculo com a instalação, são denominados *itinerantes*. Estes podem trabalhar por conta própria, ou por uma empresa contratada (ou entidade legal similar) que presta serviços nas instalações de outros empregadores. São exemplos destes tipos de trabalhadores subcontratados os que realizam

manutenção na indústria de geração de energia nuclear, que trabalham em companhias de radiografia industrial, pessoal da área médica que trabalha em vários hospitais, entre outros prestadores de serviço (IAEA, 2018).

À medida que os trabalhadores itinerantes se deslocam de uma instalação para outra, estes podem acumular doses que se aproximam, ou até excedam, o limite anual de doses individuais; isso pode ser verdade mesmo que nenhuma das restrições de dose estabelecidas prospectivamente nas diferentes instalações tenha sido excedida (IAEA, 2018).

O gerenciamento efetivo dos trabalhadores itinerantes é essencial para garantir sua proteção e segurança, mas pode ser complicado por razões de responsabilidades sobrepostas entre os empregadores, diferenças locais nos procedimentos de trabalho e nos padrões de proteção, e dificuldades de comunicação entre empregadores para garantir que as doses efetivas resultantes sejam somadas para todas as exposições. Dessa forma, o gerenciamento das doses efetivas resultantes do programa de monitoração individual torna-se um desafio, sobre o qual os empregadores e o próprio trabalhador são responsáveis (IAEA, 2018).

## **IX. Licenciamento e Controle das instalações que utilizam radiação ionizante**

A CNEN tem a atribuição de licenciar e controlar as instalações nucleares e radiativas em todo o território nacional. Realiza este controle por meio de normas e regulamentos, estabelecidos por grupos, como segue (CNEN, 2023):

Grupo 1 – Instalações Nucleares

Grupo 2 – Controle de Materiais Nucleares, Proteção Física e Proteção contra Incêndio

Grupo 3 – Proteção Radiológica

Grupo 4 – Materiais, Minérios e Minerais Nucleares

Grupo 5 – Transporte de Materiais Radioativos

Grupo 6 – Instalações Radiativas

Grupo 7 – Certificação e Registro de pessoas

Grupo 8 – Rejeitos Radioativos

Grupo 9 – Descomissionamento

Os requisitos para o licenciamento de instalações aplicam-se às atividades relacionadas com a localização, o projeto descritivo dos itens importantes à segurança, a construção, a operação, as modificações e a retirada de operação de instalações radiativas, bem como ao controle de aquisição e movimentação de fontes de radiação. O processo de licenciamento conta com análise de projetos e de documentos encaminhados pelo interessado em instituir uma prática que utiliza radiação, incluindo Relatórios de Análise de Segurança, Relatórios de Local (Avaliação de Impacto Ambiental) e Plano de Descomissionamento quando da retirada de operação da instalação. Os atos administrativos emitidos pelo regulador autorizam as diversas etapas de licenciamento por um sistema de autorizações concedidas a responsáveis nomeados (CNEN, 2022).

Uma avaliação radiológica prévia deve identificar todos os aspectos das operações da instalação, tais como (IAEA, 2018):

(a) As fontes de exposição rotineira e de exposição potencial razoavelmente previsível, como contaminação da superfície, contaminação pelo ar e fontes de radiação externa;

- (b) A natureza e magnitude das exposições em operações normais;
- (c) A natureza, probabilidade e magnitude das exposições potenciais. Isso deve incluir as maneiras pelas quais estruturas, sistemas e componentes e procedimentos relacionados à proteção ou segurança à radiação podem falhar, isoladamente ou em combinação, ou de outra forma a levar a exposições potenciais e, ainda, as consequências de tais falhas;
- (d) As medidas de proteção e segurança necessárias para implementar o processo de otimização;
- (e) Sistemas de monitoramento apropriados;
- (f) Uma avaliação da exposição potencial do público devido a efluentes radioativos da instalação, caso aplicável.

Após ou durante o processo de licenciamento, as atividades de fiscalização das instalações constam de inspeções regulatórias *in loco* e auditorias. Estas atividades incluem verificações de rotina durante as etapas de licenciamento, verificações reativas em caso de ocorrências não usuais, verificação da implementação de condições especificamente estabelecidas nas licenças e autorizações e, também, para avaliação de ações corretivas tomadas pelo operador para corrigir não conformidades (CNEN, 2014).

A CNEN segue as normativas e recomendações da IAEA, tendo publicado várias normas, entre estas a Norma básica de proteção radiológica CNEN-NN- 3.01 - Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica, e suas Posições Regulatórias:

### Posições Regulatórias

- [3.01/001:2011 - Critérios de exclusão, isenção e dispensa de requisitos de proteção radiológica.](#)
- [3.01 / 002:2011 - Fatores de ponderação para as grandezas de proteção radiológica.](#)
- [3.01/003:2011 - Coeficientes de dose para indivíduos ocupacionalmente expostos.](#)
- [3.01/004:2011 - Restrição de dose, níveis de referência ocupacionais e classificação de áreas.](#)
- [3.01/005:2011 - Critérios de cálculo de dose efetiva a partir da monitoração individual.](#)
- [3.01/006:2011 - Medidas de proteção e critérios de intervenção em situações de emergência.](#)
- [3.01/007:2005 - Níveis de intervenção e de ação para exposição crônica.](#)
- [3.01/008:2011 - Programa de monitoração radiológica ambiental.](#)
- [3.01/009:2011 - Modelo para elaboração de relatórios de programa de monitoração radiológica ambiental.](#)
- [3.01/010:2011 - Níveis de dose para notificação à CNEN.](#)
- [3.01/011:2011 - Coeficientes de Dose para Exposição do Público.](#)
- [3.01/012:2020 - Níveis de Investigação e de Referência para Radioatividade em Água Potável](#)

De forma a comparar as definições estabelecidas pela ICRP, adotadas pela IAEA e base da normativa brasileira, alguns conceitos estabelecidos na Norma CNEN-NN-3.01 são descritos a seguir (CNEN, 2014):

*Instalação* – estabelecimento, ou parte de um estabelecimento, ou local destinado à realização de uma prática. A instalação pode ser classificada como instalação nuclear ou instalação radiativa.

*Exposição ocupacional* – exposição normal ou potencial de um indivíduo em decorrência de seu trabalho ou treinamento em práticas autorizadas ou intervenções, excluindo-se a radiação natural do local.

*Exposição potencial* – exposição cuja ocorrência não pode ser prevista com certeza, mas que pode resultar de um acidente envolvendo diretamente uma fonte de radiação, ou em consequência de um evento ou de uma série de eventos de natureza probabilística.

*Indivíduo Ocupacionalmente Exposto (IOE)* – indivíduo sujeito à exposição ocupacional.

*Restrição de dose* – valor inferior ao limite de dose estabelecido pela CNEN como uma restrição prospectiva nas doses individuais relacionadas a uma determinada fonte de radiação ionizante, utilizado como limite

superior no processo de otimização relativo a essa fonte.

Algumas normas citadas merecem maiores esclarecimentos, como a *Posição Regulatória 3.01/004:2011 - Restrição de dose, níveis de referência ocupacionais e classificação de áreas*. Com a finalidade de garantir um nível adequado de proteção para cada indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE), a Norma solicita que um valor de *restrição de dose efetiva* deva ser estabelecido como condição limitante do processo de otimização da proteção radiológica, levando em consideração as incertezas associadas. Essa restrição é considerada como um valor limitante de dose efetiva que, quando alcançada, obrigaria o responsável pela instalação a agir para que o trabalhador *nunca alcance os limites anuais de dose* (CNEN, 2014).

Além disso, o nível de registro da monitoração individual mensal do IOE é de 0,10 mSv para dose efetiva, ou seja, todas as doses maiores ou iguais a 0,10 mSv devem ser registradas (CNEN, 2014), garantindo o acompanhamento individual da exposição do trabalhador.

Também são definidos valores de dose efetiva de 6 mSv por ano, ou 1 mSv em qualquer mês, como *níveis de investigação* para monitoração individual do IOE. Para dose equivalente, o *nível de investigação* para pele, mãos e pés é de 150 mSv por ano, ou 20 mSv em qualquer mês. Para o cristalino, o nível de investigação é de 6 mSv por ano, ou 1 mSv em qualquer mês. Dessa forma, em casos em que as doses alcancem esses valores estabelecidos em norma, investigação sobre os procedimentos que estejam sendo desenvolvidos na instalação deve ser realizada, avaliada, e mudanças devem ser implementadas de forma a garantir que os limites de dose anuais para o trabalhador não sejam alcançados (CNEN, 2014).

Outra ferramenta importante na proteção radiológica do trabalhador ocupacionalmente exposto é a *classificação de áreas*, conforme proposto pela ICRP (ICRP, 2007), para auxiliar no controle das exposições ocupacionais. Na mesma Posição Regulatória (CNEN, 2014), as premissas para essa classificação consideram a designação dos locais de trabalho em dois tipos: *áreas controladas* e *áreas supervisionadas*. Fora das áreas designadas como *controladas* ou *supervisionadas*, a taxa de dose e o risco de contaminação por materiais radioativos devem ser baixos o suficiente para assegurar que, em condições normais, o nível de proteção para aqueles que trabalham no local seja comparável ao nível de proteção requerido para exposições do público. Tais áreas são denominadas *áreas livres* do ponto de vista de proteção radiológica ocupacional. Em condições normais de operação, a dose para indivíduos em áreas livres não deve ultrapassar o limite previsto para *indivíduos do público*, isto é, 1 mSv/ano. Para tal, deve ser estabelecido um programa de monitoração adequado, abrangendo todas as possíveis vias de exposição (CNEN, 2014).

### Áreas de Trabalho e Limites de Dose

Os limites de dose, tanto para os IOE que trabalham em *áreas supervisionadas*, como para os que trabalham em *áreas controladas* são os mesmos. As *restrições de dose* aplicadas no processo de otimização devem ser definidas em relação a práticas específicas e não em relação a qualquer área designada (CNEN, 2014).

Outro fator na delimitação de áreas são os projetos de blindagem que visam proteger o trabalhador em sua rotina. Cálculos estruturais são realizados sempre visando limitação a valores de *restrição de dose*, de forma a garantir que o trabalhador não esteja sujeito aos valores limites estabelecidos na Norma CNEN-NN-3.01. Neste processo são utilizadas as taxas de dose esperadas em relação a uma fonte, considerando fatores de ocupação que levam em conta o tempo em que o IOE permanece em cada local (CNEN, 2023).

### Programa de gerenciamento de doses ocupacionais

Pela CNEN, todos os trabalhadores ocupacionalmente expostos à radiação ionizante (IOE) devem ser monitorados individualmente, com periodicidade mensal, por Serviços de Monitoração Individual Externa (SMIE), autorizados pelo Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD), órgão pertencente a CNEN. Dentre os requisitos para obter e manter esta autorização está a obrigação dos SMIE enviarem ao IRD, mensalmente, dados institucionais das instalações e dos respectivos indivíduos ocupacionalmente expostos (IOE) para os quais presta serviço. Anualmente, os SMIE devem enviar, também, a dose acumulada recebida por cada IOE no ano calendário anterior (MAURÍCIO et al, 2014).

Esses dados enviados são armazenados em um banco de dados nacional, com interface *web*, denominado *Gerência de Dose Ocupacional Externa* (GDOSE). Após checagem da integridade dos dados (validação de formato e críticas), os arquivos são carregados no sistema, com avaliação de consistência entre os dados

enviados e os dados já armazenados no banco. O GDOSE já tem cadastrados mais de 400.000 IOE, com registros de doses anuais desde 1987. Estima-se que aproximadamente 74 % dos trabalhadores monitorados atuem na área médica, 11 % na área industrial e de manutenção, e apenas 3 % na área de geração de energia (MAURÍCIO et al, 2014).

Essa ferramenta de controle da exposição ocupacional visa manter a segurança operacional das práticas autorizadas, visando à proteção do trabalhador por garantir a efetiva aplicação da limitação de dose. Qualquer valor de dose efetiva recebida acima dos valores limites são imediatamente notificados, gerando ações de resposta pelo órgão regulador que requer investigação e esclarecimento de possíveis eventos não usuais na rotina da instalação (MAURÍCIO et al, 2014).

## **Instalações Radiativas**

A Norma CNEN-NN-6.02 (CNEN, 2022) tem por objetivo estabelecer os requisitos para o licenciamento de instalações radiativas, aplicando-se às atividades relacionadas com a localização, o projeto descritivo de itens importantes à segurança, a construção, a operação, as modificações e a retirada de operação, bem como ao controle de aquisição e movimentação de fontes de radiação.

Para tanto, define-se como *instalação radiativa* o local onde pessoa jurídica, legalmente constituída, utilize, produza, processe ou distribua e, para tais fins, possa armazenar fontes de radiação ionizante que estejam sendo empregadas em práticas justificadas. Não estão incluídas: I - utilização de equipamentos geradores de raios X para fins de diagnóstico por imagem e radiologia intervencionista em instalações na área de saúde, incluindo segmentos médico, odontológico e veterinário (função da ANVISA); II - prestação de serviços que envolvam utilização, manutenção, testes de segurança ou controle de qualidade de equipamentos geradores de raios X para fins de diagnóstico por imagem e radiologia intervencionista na área de saúde; III - produção ou comercialização de equipamentos geradores de raios X utilizados para fins de diagnóstico por imagem e radiologia intervencionista na área de saúde, bem como respectivos componentes e acessórios; IV – atividades de ensino ou pesquisa na área de saúde com equipamentos geradores de raios X utilizados para fins de diagnóstico por imagem e radiologia intervencionista; V - instalações minero-industriais com urânio e/ou tório associados; VI - instalações nas quais minerais que contenham em sua composição radionuclídeos das séries naturais do urânio ou tório sejam armazenados, manuseados ou beneficiados em escala piloto; VII - instalações nucleares e instalações nas quais materiais físséis sejam produzidos, processados, reprocessados, utilizados, manuseados ou armazenados em escala piloto; VIII – laboratórios de ciência forense nuclear nos quais sejam caracterizadas amostras contendo materiais físséis; IX – laboratórios que realizem pesquisa para fins de aplicação em instalações nucleares, nos quais sejam utilizadas, manuseadas ou armazenadas amostras contendo materiais físséis; X – laboratórios que realizem pesquisa para fins de aplicação em instalações minero-industriais com urânio e/ou tório associados, nos quais sejam utilizadas, manuseadas ou armazenadas amostras contendo minerais e/ou minérios nucleares, a menos que se trate de padrões ambientais e/ou amostras ambientais; XI - veículos transportadores de fontes de radiação, quando estas não são partes integrantes dos mesmos; XII - armazenamento em trânsito inerente à atividade de transporte de material radioativo previsto na Norma CNEN-NN-5.01; XIII - instalações associadas à indústria do petróleo nas quais material radioativo de ocorrência natural seja manuseado, acondicionado, processado, armazenado ou depositado; XIV - depósitos intermediários e finais de rejeitos radioativos e instalações e atividades para fins de tratamento e gerenciamento dos rejeitos radioativos pertencentes a tais depósitos, bem como depósitos iniciais que se localizem em edificação distinta da instalação radiativa na qual esses rejeitos foram gerados (CNEN, 2022).

As instalações radiativas são classificadas segundo a gradação de risco, em grupos e subgrupos, subdividindo-se ainda em: instalações que utilizam *fontes seladas*; instalações que utilizam *fontes não seladas*; instalações que utilizam *equipamentos geradores de radiação ionizante*; e instalações para *produção de radioisótopos* (CNEN, 2022).

## **Instalações Nucleares**

Entende-se por Instalação Nuclear aquela na qual material nuclear é produzido, processado, reprocessado, utilizado, manuseado ou estocado em quantidades relevantes, a juízo da CNEN. Estão compreendidos nesta definição: a) reator nuclear; b) usina que utilize combustível nuclear para produção de energia térmica ou elétrica para fins industriais; c) fábrica ou usina para a produção ou tratamento de materiais nucleares, integrante do ciclo de combustível nuclear; d) usina de reprocessamento de combustível nuclear irradiado; e)

depósito de materiais nucleares, não incluindo local de armazenamento temporário usado durante transportes (CNEN, 2002).

Neste caso, Relatórios de Análise de Segurança Preliminar e Final são analisados e aprovados pela CNEN, além de Programa preliminar de monitoração ambiental pré-operacional e de rotina, e Plano Preliminar e Final para Procedimentos em Situações de Emergência (CNEN, 2019).

O processo de licenciamento estabelecido se aplica às atividades relacionadas com a localização, construção e operação de instalações nucleares. Excluem-se aquelas atividades relacionadas com reatores nucleares utilizados como fonte de energia em meio de transporte, tanto para propulsão como para outros fins (CNEN, 2002).

### **Instalações Mineró-Industriais**

Processo semelhante ao das usinas nucleares é observado na Norma CNEN- NE-1.13 referente ao licenciamento de minas e usinas de beneficiamento de minérios de urânio e tório, envolvendo as etapas de licença de localização e de operação (CNEN, 1989).

### **X. Licenciamento e Controle das instalações que utilizam radiação ionizante no radiodiagnóstico e radiologia intervencionista**

No Brasil temos na verdade dois órgãos reguladores na área de aplicações das radiações ionizantes na medicina, a CNEN e a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). A CNEN possui a atribuição de licenciar e controlar as práticas de Medicina Nuclear (Diagnóstica e Terapêutica) e de Radioterapia (Teleterapia e Braquiterapia). Já a ANVISA licencia e controla as instalações de Radiologia Diagnóstica por técnicas de raios X (CNEN, 2019).

A ANVISA tem a atribuição de baixar diretrizes para a proteção da população dos possíveis efeitos indevidos inerentes à utilização dos raios X diagnósticos, visando minimizar os riscos e maximizar os benefícios desta prática. Seus regulamentos devem ser adotados em todo o território nacional pelas pessoas jurídicas e físicas, de direito privado e público, envolvidas com a produção e comercialização de equipamentos de raios X diagnósticos, seus componentes e acessórios, que realizam prestação de serviços que impliquem na utilização de raios X diagnósticos para fins médicos e odontológicos e, ainda, a utilização dos raios X diagnósticos em atividades de pesquisa biomédica e de ensino.

As autoridades regulatórias, a saber, a Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde e os órgãos de Vigilância Sanitária dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, por sua vez, adotam as medidas cabíveis para assegurar o cumprimento dos regulamentos da ANVISA, competindo às autoridades sanitárias dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios o licenciamento dos serviços que empregam os raios X diagnósticos, assim como sua fiscalização, sem prejuízo da observância de outros regulamentos federais, estaduais e municipais supletivos sobre a matéria (ANVISA, 2022).

A ANVISA estabelece em sua Resolução de Diretoria Colegiada RDC Nº 611, de 9 de março de 2022 que os serviços de radiologia diagnóstica ou intervencionista devem implementar estrutura organizacional que induza o desenvolvimento de cultura de segurança e de melhoria contínua da qualidade da estrutura, dos processos e dos resultados, traduzindo-se em:

- I - prevenção e aprimoramento constantes dos procedimentos radiológicos e em proteção radiológica, quando couber, como parte integrante das funções diárias de cada membro da equipe;
- II - definição clara das cadeias hierárquicas para a tomada de decisão no âmbito do estabelecimento, bem como das responsabilidades de cada indivíduo; e
- III - adoção de normas, rotinas, protocolos e procedimentos operacionais, tendo a proteção radiológica, quando couber, a qualidade e a segurança como temas prioritários, incluindo a pronta identificação e correção de problemas, de acordo com sua relevância.

A RDC Nº 611 também versa sobre os princípios básicos do sistema de proteção radiológica. Também estabelece a necessidade de nomeação de um SPR - Supervisor de Proteção Radiológica que responda pelas

ações relativas ao programa de proteção radiológica. Esse profissional deve possuir responsabilidades básicas, atribuições, competências e qualificação profissional para o desempenho da função. A normativa versa sobre a responsabilidade quanto à avaliação contínua das condições de trabalho, a classificação e sinalização de áreas quanto ao risco de exposições, além do estabelecimento de programa de garantia e de controle de qualidade (ANVISA, 2022).

O serviço de radiologia diagnóstica ou intervencionista ainda deve definir e implementar medidas para o aprimoramento constante dos procedimentos radiológicos e do gerenciamento dos riscos inerentes às tecnologias utilizadas. O gerenciamento de riscos deve contemplar, no mínimo: a identificação, análise, avaliação, tratamento, monitoramento e comunicação dos riscos, conforme normativas aplicáveis; a identificação de possíveis falhas de equipamentos e erros humanos que possam resultar em incidentes relacionados a assistência à saúde, e promoção das medidas preventivas necessárias; a investigação documentada que determine as causas das possíveis falhas de equipamentos, erros humanos identificados ou descumprimento das normas em vigor, suas consequências e as ações preventivas e corretivas necessárias; a execução destas ações e, ainda, realizar notificações à autoridade sanitária competente das situações previstas nas normativas aplicáveis (ANVISA, 2022).

Quanto às exposições ocupacionais de cada indivíduo, quando em operação normal e decorrentes de todas as práticas, a RDC N° 611 estabelece que os níveis anuais de equivalente de dose ambiente adotados como restrição de dose para o planejamento de barreiras físicas de uma instalação e para a verificação de adequação dos níveis de radiação em levantamentos radiométricos são:

I - 0,5 mSv (cinco décimos de milisievert) para áreas livres; e

II - 5 mSv (cinco milisieverts) para áreas controladas.

Estes níveis devem ser controlados de modo que não excedam os limites de dose estabelecidos pela CNEN. Esses limites são valores de dose efetiva ou de dose equivalente, estabelecidos para exposição ocupacional e exposição do público, decorrentes de práticas controladas, cujas magnitudes não devem ser excedidas. Os valores adotados pela Resolução são os mesmos dos publicados na Norma CNEN-NN-3.01, tanto para exposições ocupacionais, quanto de público, garantindo, assim, uma limitação única de doses anuais para a população e para os trabalhadores (ANVISA, 2022; CNEN, 2014).

Como se pode observar, os princípios de proteção aplicados por ambos os reguladores (CNEN e ANVISA) se baseiam nos princípios internacionalmente aceitos das recomendações da ICRP e da AIEA. Os requisitos de proteção ao trabalhador, as limitações e restrições de dose são os mesmos estabelecidos pela Norma CNEN-NN-3.01 (CNEN, 2014), garantindo a segurança do trabalhador e do público de forma única, atualizada e consistente.

## XI. Conclusão

Com vista a toda a estrutura estabelecida pelos órgãos reguladores quanto à proteção do indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE) pode-se afirmar que as práticas que utilizam radiação ionizante obedecem a um sistema rígido e único de controle:

- Antes de sua entrada em operação, pela análise de projetos e relatórios de segurança onde consta a classificação de áreas, os requisitos de blindagem e os programas de dosimetria individual estabelecidos;
- Durante sua operação, através de inspeções regulatórias documentais e *in loco*, relatórios de dosimetria individualizada e banco de dados nacional de exposições ocupacionais, comparando as doses recebidas aos níveis de restrição de dose previamente estabelecidos;
- Durante sua operação através da renovação de autorização para operação, ou de novas autorizações após qualquer modificação, onde o processo de análise de segurança é inteiramente revisto, através dos planos de proteção física e de proteção radiológica atualizados;

- Pela realização de exames médicos periódicos dos indivíduos ocupacionalmente expostos e, ainda, quando de exposição a situações de emergência, ou em caso de algum incidente ou acidente.

Essa estrutura de controle está alinhada às normativas aplicadas hoje em todo o mundo, já que o sistema nacional de regulação tem se mantido atualizado pela participação de seus dirigentes na aprovação dos documentos básicos em reuniões anuais da denominada *Junta de Governadores da IAEA*. Além disso, o corpo técnico dos órgãos reguladores tem participado de reuniões, cursos e mesmo no desenvolvimento das normativas estabelecidas pela IAEA, que são votadas e adotadas pelos países membros da ONU. Dessa forma, há garantia de que o arcabouço legal instituído no Brasil se encontra hoje atualizado e segue o praticado internacionalmente.

Considerando-se ainda que:

- As práticas de radiação definidas pela CNEN e pela ANVISA são submetidas a um amplo e adequado processo de licenciamento, idealizado e implementado de acordo com sua especificidade, complexidade e nível de risco, sendo estas necessariamente justificadas, submetidas a um processo contínuo de otimização de seus sistemas de proteção radiológica, levando-se em conta os níveis de restrição de doses. Ou seja, todas as práticas, durante seus processos de licenciamento e controle, cumprem os três princípios básicos de proteção radiológica: justificção, otimização e limitação de dose;

- O Brasil, conforme discorrido, dispõe de ferramentas de controle e fiscalização, fazendo uso e emprego em plena capacidade das diretrizes internacionais relativas às práticas que utilizam radiações ionizantes;

- Os resultados de segurança do emprego das capacidades dos órgãos competentes em relação às práticas que fazem uso de radiação ionizante, dos processos de licenciamento e controle, resultam em um cenário histórico de ausência de registro de acidentes ocupacionais graves, ou seja, envolvendo altas doses de radiação e efeitos determinísticos de mortalidade;

- O conceito de periculosidade diz respeito a riscos acentuados à vida e que impliquem risco acentuado em virtude de exposição *permanente* do trabalhador, conforme a artigo 193 da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT, 2019), e que os *riscos potenciais* à saúde são tratados no Anexo 5 da Norma Regulamentadora NR 15 - Atividades e Operações Insalubres (ME, 2019) como *Insalubridade por radiações ionizantes*, que remete à CNEN NN 3.01, limites de dose para IOE e, portanto, já devidamente tratado na Norma supra citada;

- A Portaria n.º 518, de 4 de abril de 2003 não foi objeto de um prévio debate perante a Comissão Tripartite Paritária Permanente (CTPP).

Com base nas informações acima consideradas e em todo este documento, pode-se concluir que os níveis de controle estabelecidos pelas autoridades competentes são suficientes para mitigar e gerenciar os riscos do ponto de vista de periculosidade (risco imediato à vida). Ou seja, não é considerado pertinente a aplicação da PORTARIA MINISTRO DE ESTADO DO TRABALHO E EMPREGO Nº 518 DE 04.04.2003 para as práticas licenciadas que fazem uso de radiação ionizante.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA-ANVISA, *Resolução RDC Nº611*, de 9 de março de 2022.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR – CNEN, *Norma CNEN NE 1.13 Portaria CNEN DExI 03/89 agosto/1989, Licenciamento de minas e usinas de beneficiamento de minérios de urânio e/ou tório*, 1989.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR – CNEN, *Norma CNEN NN 3.01 Resolução 164/14 março/2014, Diretrizes básicas de proteção radiológica*, 2014.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR – CNEN, *Norma CNEN NE 1.04 Resolução CNEN 15/02 dezembro/2002, Licenciamento de instalações nucleares*, 2002.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR – CNEN, *Norma CNEN NN 6.02 Resolução CNEN 293/31 de março de 2022, Licenciamento de instalações radiativas*, 2022.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR – CNEN, 2023, disponível em [www.cnen.gov.br](http://www.cnen.gov.br), acessado em março de 2023.

CONSOLIDAÇÃO DAS LEIS DO TRABALHO – CLT, 2017, disponível em [https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/535468/clt\\_e\\_normas\\_correlatas1ed](https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/535468/clt_e_normas_correlatas1ed), acessado em Agosto 2019.

INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION - ILO, *Radiation Protection Convention N.º 115*, 1960.

INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION – ILO, C144 - *Tripartite Consultation (International Labour Standards) Convention*, 1976.

INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION – ILO, C 155 - *Occupational Safety and Health Convention*, 1981

INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION - ILO, R121 - *Employment Injury Benefits Recommendation N.º 121*, 1964.

INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION - ILO, *Occupational Safety and Health Series, N.º 73 - Approaches to attribution of detrimental health effects to occupational ionizing radiation exposure and their application in compensation programs for cancer*, 2010.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION – ICRP, *PUBLICATION 103 The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, 2007.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION – ICRP, *Publication 118 Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context*, Ann ICRP 41(1/2), 2012.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY – IAEA, *Occupational radiation protection, Safety Standards Series N.º GSG-7*, Vienna, 2018.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY – IAEA, *Categorization of radioactive sources, Safety Guide N.º RS-G-1.9*, Vienna, 2005.

MAURICIO, C.L.P. *et al*, *Análise dos registros de dose ocupacional externa no Brasil*, International Joint Conference RADIO 2014 Gramado, RS, Brasil, Sociedade Brasileira de Proteção Radiológica - SBPR, 2014.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA – ME, *NORMA REGULAMENTADORA NR 15 – Atividades e Operações Insalubres*, Portaria MTE n.º 1.297, de 13 de agosto de 2014.

TAHUATA *et al*. *Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos*, 10ª revisão, IRD/CNEN, 2014.

UNITED NATIONS COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION - *UNSCEAR 2012 REPORT- Sources, effects and risks of ionizing radiation [Annex A: Attributing health effects to ionizing radiation exposure and inferring risks](#)*, 2012.

UNITED NATIONS COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION - *UNSCEAR 2019 REPORT, ANNEX A - [Evaluation of selected health effects and inference of risk due to radiation exposure](#)*.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP, *Radiação: efeitos e fontes*, ISBN: 978-92-807-3604-5, 2016.

UNITED NATIONS COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION - *UNSCEAR 2020/2021 REPORT- Volume IV, ANNEX D – Evaluation of occupational exposure to ionizing radiation, 2022.*



Documento assinado eletronicamente por **Robson Spinelli Gomes, Chefe de Serviço**, em 18/05/2023, às 11:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.fundacentro.gov.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.fundacentro.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0217045** e o código CRC **8103BE97**.

Referência: Processo nº 47648.002020/2022-97

SEI nº 0217045