



Comparação entre a norma brasileira de radioproteção e a recomendação da International Commission on Radiological Protection publicadas em 2007

W. S. Pereira^{1 e 2}, A. Kelecom³ e J. R. S. Pereira⁴.

1 – Laboratório de Monitoramento de Efluentes Líquidos - LAMEL, Curso de Pós-Graduação em Ciências do Meio Ambiente, Universidade Veiga de Almeida (UVA), Rua Ibituruna, 108, Tijuca, Rio de Janeiro, Cep 20.271-020, Br.

2 – Grupo Multidisciplinar de Radioproteção (GMR), Serviço de Radioproteção (SR), Fabrica do Combustível Nuclear (FCN), Indústrias Nucleares do Brasil (INB), Caixa Postal: 83632, CEP: 25580-970 – Itatiaia – RJ

3 – Laboratório de Radiobiologia e Radiometria Pedro Lopes dos Santos (LARARA-PLS),

Grupo de Estudos em Temas Ambientais (GETA), Universidade Federal Fluminense – UFF, C.P. 100436, CEP 24.001-970, Niterói, RJ, Br.

4 – Aluna do curso de graduação em direito, Universidade Veiga de Almeida (UVA), Rua Ibituruna, 108, Tijuca, Rio de Janeiro, Cep 20.271-020, Br.

RESUMO

Em 2007, a International Commission on Radiological Protection (ICRP) divulgou um conjunto de recomendações sobre radioproteção na sua publicação N°103 que mudou alguns conceitos importantes contidos no documento anterior (N°60). Este trabalho visa comparar a norma básica de proteção radiológica brasileira (CNEN-NN-3.01) com as novas recomendações da ICRP através das diferenças existentes entre esses dois documentos. A principal diferença entre as publicações CNEN-NN-3.01 e N° 103 da ICRP é a mudança do conceito de proteção baseada no processo, pelo uso dos conceitos de prática e intervenção, para a proteção baseada na situação de exposição, através dos conceitos de exposição planejada, emergência e situação existente. Para adequar a norma brasileira é necessário mudar seu conceito de proteção e os valores de ponderação das radiações e dos tecidos, atualizar os valores dos detrimentos causados pelas radiações, além de tornar claro o conceito de radioproteção ambiental.

Palavras-chave: Radiação ionizante (12273), Proteção radiológica (12276) e Normas (22048).

1. INTRODUÇÃO

A Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) foi criada em 1928, durante o Congresso Internacional de Radiologia, com o nome de Comitê Internacional de Proteção aos Raios-X e Rádio (IXRPC). Em 1950, os nomes e a estrutura dessa comissão foram mudados através

das recomendações do Segundo Comitê Internacional de Proteção aos Raios-X e Rádio, passando a se chamar International Commission on Radiological Protection (ICRP) [1].

A ICRP é uma organização sem fins lucrativos cujo principal objetivo é a sistematização de recomendações de radioproteção. Para atingir este objetivo, a ICRP tem trabalhado em conjunto com a Comissão Internacional de Unidades e Medidas das Radiações (ICRU) que define as unidades utilizadas em radioproteção. A ICRP mantém relações oficiais com o Comitê Científico sobre os Efeitos da Radiação Atômica da Organização das Nações Unidas (UNSCEAR) que pesquisa a literatura sobre os efeitos biológicos das radiações. Baseado nestas pesquisas, a ICRP publica suas recomendações. A Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), então, organiza as recomendações feitas pela ICRP como normas e guias. Finalmente, os países membros aceitam as recomendações da AIEA em suas próprias leis [1].

Outras organizações também participam na preparação das normas e guias como a Organização Mundial da Saúde (WHO), a Organização Mundial do Trabalho (ILO), o Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP) e outros órgãos das Nações Unidas [1].

A Comissão das Comunidades Europeias (Comissão Europeia, EC), a Agência de Energia Nuclear da Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OECD/NEA), a Organização Internacional para Padronização (ISO) e a Comissão Internacional de Eletrotécnica (IEC) também participam com recomendações regionais e não compulsórias [1].

A filosofia da radioproteção atual foi criada em 1977 na publicação N°26 da ICRP [2]. Este documento quantifica pela primeira vez o risco dos efeitos estocásticos das radiações e propõe um sistema de limitação de dose. Nesta publicação são explicados os três princípios básicos de radioproteção: justificação, otimização e limitação individual de dose [2], princípios estes que foram mantidos nas publicações seguintes editadas em 1990 (N°60) [3] e 2007 (N°103) [1].

Com o aumento dos conhecimentos relativos aos mecanismos de radioproteção foram necessárias mudanças nas recomendações da ICRP-26. Em 1990, a ICRP propôs essas mudanças baseadas em revisões das estimativas do risco de exposição à radiação [3].

Uma mudança considerável foi introduzida com a distinção entre “práticas” e “intervenções” para levar em conta os diferentes tipos de situações de exposição pela ICRP [3].

Em 1956, o valor do limite anual de dose do trabalhador foi estabelecido em $50 \text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$. Este valor foi mantido em 1977 na publicação ICRP-26 [2], mas revisado em 1990 na publicação ICRP-60 [3] para $20 \text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$. Nessa mesma revisão, o valor de dose anual do público foi alterado de $5 \text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ para $1 \text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$. Ambas as mudanças foram mantidas na publicação da ICRP-103 [1].

Ao longo dos anos, novos conhecimentos sobre radioproteção forçaram a ICRP a mudar conceitos e recomendações, o que resultou na ICRP-103 [1]. Estas mudanças estão sendo avaliadas pela AIEA visando à sistematização das recomendações em forma de guia que servirá de base

para as legislações nacionais que desejarem adotá-las e se encontram atualmente em forma de rascunho.

No Brasil, as primeiras leis de radioproteção apareceram em 1988 com a norma NE 3.01 [4] da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Este documento foi baseado na ICRP-26 [2]. De acordo com a evolução dos conceitos globais de radioproteção, o órgão regulamentador brasileiro atualizou as leis básicas, seguindo a ICRP-60 [3], com a Norma CNEN-NN-3.01 [5]. Com a atualização da ICRP-60 [3] para a ICRP-103 [1], o Brasil se encontra relativamente defasado em relação à radioproteção mundial.

O presente estudo visa avaliar as diferenças entre as normas da CNEN [5] e a publicação 103 da ICRP [1], analisando a filosofia de radioproteção, os limites de dose e outros aspectos relevantes.

2. COMPARAÇÃO ENTRE A NORMA DA CNEN E A ICRP-103

2.1. Principais mudanças

A disponibilidade de novos conhecimentos sobre a física e a biologia das exposições à radiação forneceu um entendimento diferente dos riscos das mesmas. Esta nova compreensão levou à realização de uma atualização de conceitos e valores do detrimento das radiações. Outra atualização importante foi a respeito dos valores dos fatores de ponderação de radiação e dos tecidos e órgãos que permitem, quando aplicados à dose absorvida, estabelecer os valores de dose equivalente e efetiva, conceitos fundamentais de radioproteção.

Uma diferença importante foi a mudança na abordagem da proteção baseada no processo, contido nos conceitos de prática e intervenção, para uma abordagem baseada agora na situação de exposição, contendo os conceitos de exposição planejada, de emergência e exposições existentes e aplicar os princípios fundamentais de justificação e de otimização da proteção a todas as situações de exposições controláveis.

Outra mudança importante foi a queda do conceito antropocêntrico, contido na ICRP-26, para uma radioproteção ambiental [2]. Assim, segundo a ICRP-103 [1], a proteção ambiental deve ser explícita e geral, independente da proteção dos seres humanos. Esta filosofia já foi proposta pela ICRP em 2003 [6], e é diferente daquela proposta pela CNEN-NN-3.01 [5] que ainda usa a visão antropocêntrica da ICRP-26 [2].

A definição dos componentes principais de proteção radiológica também mudou como segue:

- Caracterização das possíveis situações onde a exposição à radiação pode ocorrer (planejada, emergência e situações de exposições existentes);

- Classificação dos tipos de exposições (aquelas que estão determinadas a acontecer e as exposições potenciais, bem como exposições médicas de pacientes e do público);
- Identificação dos indivíduos expostos (trabalhadores, pacientes e membros do público);
- Categorização dos tipos de avaliação, chamados relacionadas à origem e relacionadas aos indivíduos;
- Formulação precisa dos princípios de proteção radiológica: justificação, otimização e aplicação de limite de dose;
- Descrição de níveis de doses individuais que requerem ações protetoras ou avaliações (limites de dose, restrições de dose e níveis de referência); e
- Delineamento das condições de segurança das fontes de radiação, incluindo a sua segurança operacional e proteção física e os requisitos para a preparação e resposta a emergências.

2.2. Manutenções importantes

Os três principais princípios de radioproteção (justificação, otimização e limitação individual de dose), propostos pela ICRP-26 [2] foram mantidos na ICRP-60 [3] e adotados pela CNEN-3.01. Esta manutenção demonstra a grande aceitação desses princípios pela comunidade científica e a solidez desses conceitos, quando aplicados como base do sistema de proteção radiológica.

Os limites de doses para dose equivalente e efetiva de todas as fontes sobre regulação em situações de exposições previstas foram mantidos. Estes limites representam a dose máxima que seria aceita em qualquer situação de exposição prevista pelas autoridades reguladoras.

O princípio da otimização de proteção foi reforçado. Ele deve ser aplicado de forma semelhante a todas as situações de exposição com restrições em riscos e doses individuais, chamados restrições de risco e doses para situações de exposições previstas e níveis de referência para emergências e situações de exposições existentes.

A unidade fundamental na radioproteção é a dose absorvida. Entretanto, as respostas diferentes a diferentes tipos de radiações e por diferentes tipos de tecidos requerem o estabelecimento de fatores de ponderação relativos aos vários tipos de radiação e tecidos. Estes fatores são idênticos nas publicações da CNEN-3.01 e da ICRP-60 [3], mas algumas mudanças foram feitas na ICRP-103 [1] que serão mostradas abaixo.

2.3. Fator de ponderação de radiação (W_R)

O conceito de dose absorvida descreve eficientemente a energia depositada pela radiação em um meio material. É expressa em Gray (Gy), cuja dimensão é o $J \cdot kg^{-1}$. No caso de baixas taxas de dose e baixas doses, e quando as taxas e doses são distribuídas heterogeneamente no espaço e no tempo, a resposta biológica (efeito biológico) é diferente para doses iguais [6]. Esta diferença pode ser estimada (quantificada) usando o conceito de eficácia biológica relativa (RBE).

A RBE é definida como a razão inversa da dose absorvida de diferentes tipos de radiação entregue ao mesmo local de interesse que produz o mesmo dano (efeito biológico) em um dado organismo, órgão ou tecido [6].

O conceito de RBE não deve ser usado em radioproteção humana, pois isto resultaria em uma enorme variedade de valores, um para cada alvo biológico e para todos os diferentes tipos de radiações emitidas por todos os diferentes radionuclídeos. Neste caso, é usado um conceito de RBE simplificado. Este novo conceito é chamado de fator de ponderação de radiação (W_R) que permite a conversão da dose absorvida em dose equivalente, a qual oferece uma estimativa de dano em função do tipo de radiação.

Para a CNEN-3.01 os valores de W_R são baseados na publicação 60 da ICRP [3] e são mostrados na tabela 1. Esses fatores de ponderação de radiação são desatualizados em relação aos recomendados atualmente pela ICRP-103 [1] que aparecem na tabela 2.

As diferenças foram as inclusões de prótons e píons carregados e a definição de W_R para nêutron como uma função da energia e não mais em classes de energias.

Tabela 1. Fatores de peso da radiação^[a] (W_R), seg. CNEN-3.01[5] e ICRP-60 [3].

Tipo e faixa de energia^[b]	Fator de peso da radiação, W_R
Fótons, todas as energias.	1
Elétrons e múons, todas as energias ^[c]	1
Nêutrons ^[d] , energia: < 10 KeV	5
10 KeV a 100 KeV	10
>100 KeV a 2 MeV	20
>2 MeV a 20 MeV	10
>20 MeV	5
Fótons, exceto os de recuo, energia > 2MeV	5
Partículas alfa, fragmentos de fissão e núcleos pesados	20

[a] Todos os valores se relacionam à radiação incidente no corpo ou, para fontes internas, emitida pela fonte;

[b] Valores para outras radiações podem ser obtidos no Anexo A da ICRP-60;

[c] Excluindo elétrons Auger emitidos por radionuclídeos ligados ao DNA, para os quais se aplicam considerações especiais de microdosimetria; e

[d] Para consistência nos cálculos, pode-se usar a seguinte expressão para a estimativa de W_R para nêutrons, em função da energia: $W_R = 5 + 17 \frac{(-\ln_2 \varepsilon)^2}{6}$, onde ε é a energia em MeV.

Tabela 2. Fatores de peso da radiação (W_R) segundo a ICRP-103 [1].

Tipo de radiação	Fator de ponderação de radiação, W_R
Fótons	1
Elétrons e múons	1
Prótons e píons pesados	2
Partículas alfa, fragmentos de fissão, íons pesados	20
Nêutrons	Função continua da energia do nêutron

2.4. Fator de ponderação de tecido (W_T)

Os valores dos fatores de ponderação dos tecidos são escolhidos para representar a contribuição de órgãos e tecidos individuais no detrimento devido à radiação em casos de efeitos estocásticos. A unidade de dose efetiva é o Sievert (Sv) com dimensão de $J \cdot kg^{-1}$. A unidade é a mesma para dose equivalente e dose efetiva, assim como para algumas quantidades operacionais de dose. Cuidados devem ser tomados para garantir que a quantidade utilizada seja correta.

Os órgãos e tecidos para os quais os valores de W_T são especificados estão listados na tabela 3. Com base em estudos epidemiológicos sobre a indução de câncer em populações expostas e avaliação de riscos para efeitos hereditários, um conjunto de valores de W_T foi escolhido para estas recomendações (tabela 3) baseadas nos valores respectivos do detrimento relativo das radiações. Eles representam os valores médios para os seres humanos de ambos o sexo e todas as idades e, portanto, não se relacionam com as características particulares de cada indivíduo.

Estes valores na ICRP 103 [1] sofreram consideráveis alterações como pode ser observado na tabela 4.

Tabela 3. Fatores de ponderação de tecido (W_T), seg. CNEN-3.01 [5] e ICRP-60 [3].

Tecido ou órgão	W_T
Gônadas	0,20
Cólon	0,12
Estômago	0,12
Medula óssea (Vermelha)	0,12
Pulmão	0,12
Bexiga	0,05
Esôfago	0,05
Fígado	0,05
Mama	0,05
Tireoide	0,05
Pele	0,01
Superfície óssea	0,01
Restante	0,05
Total	1,00

Tabela 4. Fator de ponderação do tecido (W_T), segundo a ICRP-103 [1].

Órgão/tecido	W_T	$\sum W_T$
Medula-óssea (vermelha), cólon, pulmão, estômago, mama, tecidos restantes ¹	0,12 ²	0,72
Gônadas	0,08	0,08
Bexiga, esôfago, fígado, tireoide	0,04 ²	0,16
Superfície óssea, cérebro, glândulas salivares, pele	0,01 ²	0,04
Total		1,00

¹ Tecidos restantes: Glândula adrenal, região extratorácica, vesícula biliar, coração, rins, mucosa oral, nódulos linfáticos, músculo, pâncreas, próstata (♂) intestino delgado, baço, timo, útero/cervix (♀); ² cada.

2.5. Manutenção dos Limites de Dose Anual

Os valores limites de dose individual da CNEN-3.01 [5] e da ICRP-103 [1] são idênticos (tabela 5), o que significa doses iguais, mas não igual exposição à radiação ionizante porque o modelo dosimétrico usado para calcular as doses, nos dois casos é diferente. Essa diferença se dá pela mudança dos conceitos que mudou a situação de contorno do cálculo, assim como, alteração do fator de conversão de dose, alterados pela mudança do W_r e W_t .

Tabela 5. Limite de doses individuais, seg. ICRP-103 [1] e norma brasileira CNEN-3.01 [5].

Categoria de exposição	Valores dos limites de doses
Exposição ocupacional	
Exposição ocupacional para exposições planejadas	20 mSv·a ⁻¹
Cristalino	150 mSv·a ⁻¹
Pele	500 mSv·a ⁻¹
Mãos e Pés	500 mSv·a ⁻¹
Mulheres grávidas	1 mSv para embriões
Exposição do público	
Exposição do público	1 mSv·a ⁻¹
Cristalino	15 mSv·a ⁻¹
Pele	50 mSv·a ⁻¹

2.6. Nova concepção de radioproteção

Na publicação 60, a ICRP [3] definiu o conceito de *prática* como uma atividade humana que causa aumento das exposições às radiações ou que aumenta o número de indivíduos expostos. Este conceito foi abandonado na publicação 103 da ICRP [1] que desenvolveu o conceito de *ex-*

posições planejadas, de emergência e exposições existentes. Na visão anterior, a regulação era aplicada apenas para práticas e acidentes. Com os novos conceitos, as exposições existentes foram incluídas no âmbito regulatório. Os conceitos de planejamento, emergência e exposições existentes são definidos na ICRP-103 da seguinte forma [1]:

- Situações de *exposições planejadas* são situações que envolvem a introdução e operação deliberada de fontes. Situações de exposições planejadas podem dar origem às exposições cuja ocorrência está prevista (exposição normal) e exposições cuja ocorrência não está prevista (em caso de emergência);
- Situações de *exposições de emergência* são situações que podem ocorrer durante a operação de uma situação planejada ou de um ato malicioso ou de qualquer outra situação inesperada, e requerem ações urgentes a fim de evitar ou reduzir as consequências indesejáveis; e
- Situações de *exposições existentes* são exposições que já existem quando uma decisão sobre o controle tem que ser tomada, incluindo situações de exposição prolongada de emergência.

2.7. Os conceitos de limite de dose, nível de restrição e nível de referência

Estes conceitos podem ser organizados em 2 grupos, ver figura 1, por um lado o conceito de limite de dose e por outro os conceitos de nível de restrição e nível de referência. A exposição dos indivíduos à radiação ionizante precisa de dois elementos-chave: a pessoa que está exposta à fonte de radiação e a fonte de radiação que expõe o indivíduo.

O conceito de limite de dose visa limitar a exposição dos seres humanos, restringindo a maneira como ele é exposto à radiação. O foco é o indivíduo. Este conceito aplica-se controlando todas as fontes de exposição apenas para as situações previstas.

Por outro lado, os níveis de restrição e níveis de referência visam a proteção do homem operando a fonte. O foco é a fonte. Este conceito aplica-se em toda situação onde ocorre exposição, não apenas situações planejadas.

Todas estas alterações e novos conceitos precisam ser incorporados à norma brasileira. Mesmo necessitando de alterações para estar no estado da arte na radioproteção a norma brasileira é segura e deve ser obedecida integralmente

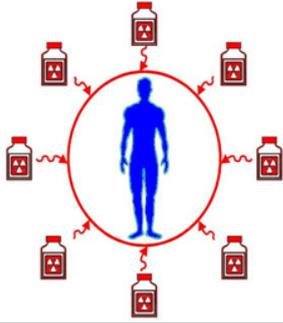
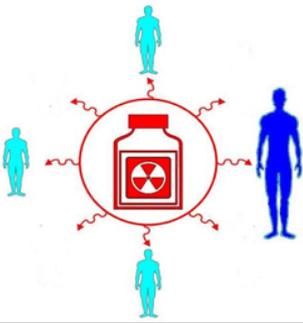
Limites de dose	Limites de restrição e de referência
Proteção de trabalhadores para exposições ocupacionais e pessoas representativas para exposição do público	
	
Para todas as fontes sobre regulação em situações de exposição planejada	Para uma fonte em todas as situações de exposição

Figura 1. Limite de dose contrastado com níveis de restrição e níveis de referência para a proteção de trabalhadores e membros do público seg. [1], com adaptações.

3. CONCLUSÕES

As principais diferenças entre a CNEN-3.01 [5] e a ICRP-103 [1] são:

- Os valores dos fatores de ponderação de radiação (W_R) e do tecido (W_T);
- Os valores de percepção de riscos de exposições a baixas doses;
- A abolição do conceito de prática;
- A introdução dos conceitos de exposições planejadas, de emergência e exposições existentes; e
- Recomendações de desenvolver um projeto de radioproteção ambiental.

Além disso, os demais conceitos da CNEN-3.01 [5] foram mantidos na ICRP-103 [1]. Isto mostra que estes conceitos são sólidos na cultura de radioproteção e são considerados seguros para serem aplicados. Entre os conceitos mantidos, estão:

- Os princípios fundamentais de radioproteção: justificação, otimização e limite individual de dose;
- Os limites de dose para os trabalhadores e para o público; e
- Por fim, o fato do princípio da otimização não só ser mantido como reforçado.

Para adequar a norma brasileira torna-se necessário mudar seu conceito de proteção, atualizar os valores de ponderação das radiações e dos tecidos, mudar os detrimientos das radiações, além de tornar claro o conceito de radioproteção ambiental.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Fundação Nacional de Desenvolvimento do Ensino Superior Particular – FUNADESP, pela bolsa de pesquisa concedida ao Prof. Dr. Wagner de Souza Pereira, para o desenvolvimento desse projeto.

REFERÊNCIAS

1. ICRP - International Commission on Radiological Protection. **The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publicação 103**, 2007, 332 pp.
2. _____, **Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publicação 26**, 1977, 205 pp.
3. _____, **Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publicação 60**, 1990, 201 pp.
4. CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Diretrizes Básicas de Radioproteção**, 1988, 121 pp.
5. _____, **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica**, 2005, 22pp.
6. ICRP - International Commission on Radiological Protection. **A framework for assessing the impact of ionizing radiation on non-human species. Publicação 91**, 2003, 69 pp.