

Avaliação da Exposição Radiológica dos Profissionais da Saúde

Health Professionals Radiological Exposure Evaluation

Ildefonso Pinto⁽¹⁾, João Schiappa⁽¹⁾, Rui Parafita⁽¹⁾, Pedro Carvoeiras⁽¹⁾, Bruno Martins⁽¹⁾, Hugo Trindade⁽¹⁾, Nuno Machado^(1,2),
Nuno Teixeira^(2,3)

⁽¹⁾Medical Consult – Consultoria e Formação em Tecnologias da Saúde, Lda.

⁽²⁾Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa

⁽³⁾Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Nova de Lisboa

Resumo

A evolução dos equipamentos e técnicas na Saúde, e em especial na Radiologia, permitiu a redução significativa dos limites de dose, traduzindo-se esta redução nas recomendações internacionais e na legislação europeia e nacional. A aplicação correcta de regras específicas em cada uma das valências citadas, baseadas no princípio ALARA, deverá conduzir a exposições baixas.

Dependendo das doses individuais das práticas dos profissionais, é de toda a utilidade o estudo das doses que os profissionais de valências radiológicas recebem reportando-se ao caso português, a fim de se poder avaliar as boas práticas no que respeita à Protecção Radiológica.

Com este trabalho pretende-se caracterizar os níveis de exposição radiológica dos trabalhadores profissionalmente expostos que operam em Portugal na área da Saúde. Para tal, analisaram-se dados de doses individuais dos profissionais controlados pela Medical Consult com dosímetros termoluminescentes. Nesta análise é efectuada a discriminação por categorias profissionais e por prática.

Palavras-Chave

Exposição radiológica; Práticas radiológicas; Dosimetria individual.

Introdução

A dosimetria individual consiste no controlo da exposição à radiação ionizante através da utilização de equipamento de monitorização de uso pessoal no decurso das funções laborais.

Esta monitorização dos trabalhadores era realizada inicialmente por dosímetros de película (ou filme), cuja leitura tinha que ser feita de forma manual e além da dificuldade da estimação da dose também implicava a necessidade de arquivo das películas.

Com a evolução da tecnologia da física de estado sólido, a dosimetria individual passou a ser realizada por recurso a detectores com cristais semi-condutores termoluminescentes, mais comumente designados por TLD. Isto permitiu que a avaliação fosse realizada de uma forma mais exacta, com maior sensibilidade e principalmente com detectores reutilizáveis que após o processo de leitura permitem serem aquecidos de forma a libertar todos os electrões presos nas lacunas.

Na dosimetria individual é avaliada a grandeza de protecção Equivalente de Dose Individual, $H_p(d)$, em que d é a profundidade a que é estimada, sendo este processo realizado de acordo com normas e recomendações internacionais^{[1],[2]}. Tipicamente e em termos práticos, em Dosimetria Individual esta grandeza é avaliada a pelo menos uma de três profundidades distintas: 10, 3 e 0,07 mm, de acordo com a grandeza de Protecção que se pretenda estimar.

A Dose Efectiva, E , é estimada através do $H_p(10)$, cuja contribuição é devida a radiação ionizante de energia maior, e por tal, mais penetrante. A Dose Equivalente, H , na pele ou nas extremidades (mãos, pulsos ou tornozelos) por sua vez é estimada através do $H_p(0,07)$, cuja contribuição é devido a radiações com energia baixa e pouco penetrante. Por outro lado, a Dose Equivalente no cristalino é estimada através do $H_p(3)$.

Nos designados de dosímetros de Corpo Inteiro são geralmente avaliadas duas grandezas, o $H_p(10)$ e o $H_p(0,07)$. Por outro lado, na dosimetria de extremidade é avaliada apenas o $H_p(0,07)$.

Enquadramento Legal

A legislação nacional^[3] e a comunitária^[4] tem definido os limites de exposição à radiação ionizante para os profissionais expostos, bem como para membros do público. Estes limites foram definidos a partir de várias recomendações técnicas^{[2],[5]}, baseando-se em estudos^[6] dos efeitos biológicos da exposição à radiação, sendo os mais relevantes as detonações nucleares em Hiroshima e Nagasaki e o acidente de Chernobyl. Apesar da legislação nacional não ter transposto de forma explícita os limites de dose actuais definidos pela directiva europeia 96/29/EURATOM, os limites definidos em 1996 são genericamente aceites como os limites a cumprir.

Tabela 1 – Limite de Doses para profissionais expostos.

Dose Efectiva		100 mSv em 5 anos 50 mSv num único ano
Dose Equivalente	Extremidade e Pele	500 mSv/ano
	Cristalino	150 mSv/ano

Tabela 2 – Limite de Doses para membros do público.

Dose Efectiva		1 mSv/ano*
Dose Equivalente	Extremidade e Pele	50 mSv/ano
	Cristalino	15 mSv/ano

*Em situações excepcionais poderá ser recebido até 5 mSv num único ano, desde que a dose efectiva média em 5 anos consecutivos não exceda 1 mSv.

Em Portugal, a legislação obriga que a monitorização dos trabalhadores seja realizada através de dosímetros de Corpo Inteiro (CI), sendo os de Extremidade apenas obrigatórios se a autoridade de controlo o considerar por a dose nesse local puder ultrapassar os 25 mSv^[7]. Em termos operacionais, o que sucede na prática é que o controlo de extremidades acaba por ser opcional para as instituições onde os profissionais exercem as suas funções e independentemente das práticas executadas.

Apesar da legislação nacional definir taxativamente que todos os trabalhadores expostos de categoria A têm obrigatoriamente de ter controlo dosimétrico, no caso dos trabalhadores de categoria B é algo imprecisa. Para resolver esta situação, a Direcção-Geral da Saúde emitiu uma circular^[8] obrigando também a que os trabalhadores classificados como sendo de categoria B sejam controlados através de dosimetria individual.

Materiais e Métodos

O serviço de Dosimetria Individual da Medical Consult tem vindo a ser realizado ao longo dos últimos anos com a utilização de dosímetros de termoluminescência (*TLD*), possuidores de dois cristais semi-condutores iguais para controlos de corpo inteiro, enquanto os de extremidade possuem apenas um cristal. Embora inicialmente estes cristais fossem de LiF:Mg,Ti (*TLD100*), actualmente são constituídos por LiF:Mg,Cu,P (*TLD700H*), com vista à melhoria contínua do processo de leitura, maior reprodutibilidade e sensibilidade, e menor *fading*.

Actualmente a Unidade de Dosimetria Individual da Medical Consult controla mais de metade dos profissionais expostos a radiações em Portugal. Desta forma é possível proceder à análise das doses médias destes trabalhadores, em especial na área da Saúde, de uma forma reprodutível para a realidade nacional.

Este trabalho foi realizado a partir da compilação das comunicações obrigatórias das doses recebidas pelos trabalhadores controlados ao Registo Central de Doses^[9], organismo responsável de manter o registo dosimétrico nacional.

Deste modo pretende-se caracterizar e avaliar a exposição à radiação, de acordo com as valências radiológicas e por categorias profissionais.

Resultados

Médias de valores de dose - Corpo Inteiro

Como ponto de partida, considerou-se relevante avaliar a evolução do valor médio anual do $H_p(10)$ e do $H_p(0,07)$, por valência radiológica. Para a determinação do valor médio, não se incluíram as doses recebidas pelos alunos dos cursos radiológicos, uma vez que as suas exposições são bastante limitadas no tempo (de 3 a 6 meses por ano) e, por serem profissionais em formação, por vezes têm uma postura mais de observadores do que operadores dos equipamentos. No entanto os estudantes foram avaliados de forma independente, de forma a também ter uma noção das suas exposições.

Os vários distintos serviços com trabalhadores profissionalmente expostos foram agrupados numa das quatro valências: Medicina Nuclear, Radioterapia, Radiologia Convencional e Radiologia de Intervenção.

Optou-se por separar a Radiologia de Intervenção (Blocos Operatórios e outros serviços específicos, tais como Litotricia e Gastrenterologia, que recorrem a práticas de escopia) das restantes consideradas de Radiologia Convencional devido às características distintas das condições de exposição à radiação. Na Radiologia Convencional englobaram-se outros serviços que genericamente recorrem a equipamentos de imagiologia (Ortopedia e Medicina Dentária por exemplo).

Na valência de Medicina Nuclear agruparam-se os Laboratórios de Patologia Química, uma vez que a forma de exposição à radiação é semelhante, com recurso a isótopos radioactivos (fontes não-seladas).

Na valência de Radioterapia agruparam-se também os serviços de Braquiterapia e os de Física Médica, uma vez que estes estão localizados em grandes instituições com serviços de terapia, onde despendem a maior parte do seu tempo laboral.

Tabela 1 – Valores de 2001.

	Média		Máximo
	$H_p(10)$	$H_p(0,07)$	$H_p(10)$
Radioterapia	0,04	0,04	0,09
Medicina Nuclear	---	---	---
Radiologia Convencional	---	---	---
Radiologia Intervenção	---	---	---

Tabela 2 – Valores de 2002.

	Média		Máximo
	$H_p(10)$	$H_p(0,07)$	$H_p(10)$
Radioterapia	0,07	0,07	0,39
Medicina Nuclear	0,08	0,08	0,51
Radiologia Convencional	0,05	0,05	0,25
Radiologia Intervenção	---	---	---

Tabela 3 – Valores de 2003.

	Média		Máximo
	$H_p(10)$	$H_p(0,07)$	$H_p(10)$
Radioterapia	0,13	0,13	0,38
Medicina Nuclear	0,45	0,48	1,87
Radiologia Convencional	0,23	0,40	3,36
Radiologia Intervenção	0,33	0,35	1,87

Tabela 4 – Valores de 2004.

	Média		Máximo
	$H_p(10)$	$H_p(0,07)$	$H_p(10)$
Radioterapia	0,24	0,21	4,10
Medicina Nuclear	0,62	0,62	5,20
Radiologia Convencional	0,31	0,30	23,40
Radiologia Intervenção	0,57	0,60	26,60

Tabela 5 – Valores de 2005.

	Média		Máximo
	$H_p(10)$	$H_p(0,07)$	$H_p(10)$
Radioterapia	0,85	0,88	1,90
Medicina Nuclear	1,02	0,94	8,00
Radiologia Convencional	0,39	0,38	46,70
Radiologia Intervenção	0,42	0,41	14,00

Tabela 6 – Valores de 2006.

	Média		Máximo
	$H_p(10)$	$H_p(0,07)$	$H_p(10)$
Radioterapia	0,31	0,30	7,60
Medicina Nuclear	1,47	1,48	25,50
Radiologia Convencional	0,29	0,28	38,90
Radiologia Intervenção	0,37	0,35	17,20

Tabela 7 – Valores de 2007.

	Média		Máximo
	H _p (10)	H _p (0,07)	H _p (10)
Radioterapia	0,20	0,31	4,30
Medicina Nuclear	0,74	0,84	10,00
Radiologia Convencional	0,26	0,29	46,40
Radiologia Intervenção	0,30	0,33	12,20

Discriminação dos resultados – Corpo Inteiro

Os valores obtidos para o valor médio anual e para o valor máximo, por si só, não nos permitem constatar a realidade de exposição nas várias valências, pelo que considerou-se igualmente relevante proceder à elaboração de histogramas de distribuição de doses em cada uma das valências. Como nos anos iniciais o número de trabalhadores controlados pela Medical Consult era pouco significativo em relação ao total nacional, optou-se por elaborar os histogramas de 2004 até 2007.

Os controlos dosimétricos foram separados em cinco intervalos de dose. O primeiro limiar considerado foi a 0,5 mSv, metade do valor anual para membros do público e que claramente são referentes a trabalhadores que são ou deveriam ser classificados como sendo de categoria B. O intervalo seguinte foi considerado entre 0,5 e 2 mSv, uma vez que este último é o valor de comunicação obrigatória caso seja ultrapassado num período de vigiância^[9].

O intervalo de dose imediatamente seguinte corresponde entre 2 e 6 mSv. Por definição, 6 mSv é o valor a partir do qual qualquer trabalhador que o exceda deverá ser classificado como sendo de categoria A. De seguida, considerou-se o limiar de 20 mSv, por ser a média do limite de Dose Efectiva de 100 mSv em cinco anos para trabalhadores expostos à radiação ionizante. Este limiar permite estabelecer os dois últimos intervalos de dose do histograma.

Tabela 8 – Histograma dos valores de H_p(10) na valência de Radioterapia.

Dose (mSv)	2004		2005		2006		2007	
	Número	(%)	Número	(%)	Número	(%)	Número	(%)
< 0,5	178	80,91	117	66,10	173	80,84	211	86,83
0,5 ≤ H _p (10) < 2,0	41	18,64	60	33,90	36	16,82	30	12,35
2,0 ≤ H _p (10) < 6,0	1	0,45	0	0,00	4	1,87	2	0,82
6,0 ≤ H _p (10) < 20,0	0	0,00	0	0,00	1	0,47	0	0,00
≥ 20	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Total	220		177		214		243	

Tabela 9 – Histograma dos valores de H_p(10) na valência de Medicina Nuclear.

Dose (mSv)	2004		2005		2006		2007	
	Número	(%)	Número	(%)	Número	(%)	Número	(%)
< 0,5	60	58,25	36	58,06	55	59,78	62	63,27
0,5 ≤ H _p (10) < 2,0	36	34,95	16	25,81	18	19,57	22	22,45
2,0 ≤ H _p (10) < 6,0	7	6,80	8	12,90	15	16,30	13	13,27
6,0 ≤ H _p (10) < 20,0	0	0,00	2	3,23	2	2,17	1	1,02
≥ 20	0	0,00	0	0,00	2	2,17	0	0,00
Total	103		62		92		98	

Tabela 10 – Histograma dos valores de $H_p(10)$ na valência de Radiologia Convencional.

Dose (mSv)	2004		2005		2006		2007	
	Número	(%)	Número	(%)	Número	(%)	Número	(%)
< 0,5	1716	81,95	1730	75,81	2611	84,28	2737	81,75
$0,5 \leq H_p(10) < 2,0$	333	15,90	494	21,65	425	13,72	567	16,94
$2,0 \leq H_p(10) < 6,0$	34	1,62	42	1,84	49	1,58	37	1,11
$6,0 \leq H_p(10) < 20,0$	10	0,48	14	0,61	10	0,32	6	0,18
≥ 20	1	0,05	2	0,09	3	0,10	1	0,03
Total	2094		2282		3098		3348	

Tabela 11 – Histograma dos valores de $H_p(10)$ na valência de Radiologia de Intervenção.

Dose (mSv)	2004		2005		2006		2007	
	Número	(%)	Número	(%)	Número	(%)	Número	(%)
< 0,5	642	84,70	622	79,13	893	83,54	1218	81,20
$0,5 \leq H_p(10) < 2,0$	75	9,89	131	16,67	144	13,47	256	17,07
$2,0 \leq H_p(10) < 6,0$	27	3,56	25	3,18	23	2,15	19	1,27
$6,0 \leq H_p(10) < 20,0$	12	1,58	8	1,02	9	0,84	7	0,47
≥ 20	2	0,26	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Total	758		786		1069		1500	

Caracterização por categorias profissionais em cada valência

Para a caracterização da exposição pelas categorias profissionais, recorreu-se às doses recebidas pelos trabalhadores para cada uma das várias valências radiológicas, apenas do ano de 2007. Nesta caracterização incluíram-se os estudantes dos cursos radiológicos, de forma a ter-se uma noção da exposição destes indivíduos, relativamente aos profissionais em funções. Esta discriminação tem uma limitação pelo facto de uma relevante percentagem dos trabalhadores não prestar a devida informação da sua categoria profissional. Deste modo, estes trabalhadores foram agrupados juntamente com os profissionais de outras categorias de menor risco de exposição (principalmente auxiliares e administrativos).

Tabela 12 – Valor Médio de Doses por categorias na Radioterapia.

Categoria	$H_p(10)$	$H_p(0,07)$
Geral	0,20	0,31
MED	0,19	0,24
TEC	0,25	0,43
FIS	0,08	0,13
ENF	0,34	0,48
Outras	0,11	0,15
EST	0,02	0,04

Tabela 13 – Valor Médio de Doses por categorias na Medicina Nuclear.

Categoria	$H_p(10)$	$H_p(0,07)$
Geral	0,74	0,84
MED	0,38	0,45
TEC	1,00	1,13
FIS	0,00	0,00
ENF	5,15	5,90
Outras	0,40	0,45
EST	0,27	0,32

Tabela 14 – Valor Médio de Doses por categorias na Radiologia Convencional.

Categoria	H _p (10)	H _p (0,07)
Geral	0,20	0,31
MED	0,19	0,24
TEC	0,25	0,43
FIS	0,08	0,13
ENF	0,34	0,48
Outras	0,11	0,15
EST	0,02	0,04

Tabela 15 – Valor Médio de Doses por categorias na Radiologia de Intervenção.

Categoria	H _p (10)	H _p (0,07)
Geral	0,30	0,33
MED	0,39	0,43
TEC	0,31	0,37
FIS	0,00	0,00
ENF	0,25	0,28
Outras	0,22	0,23
EST	---	---

A dosimetria de corpo inteiro é claramente o alvo de todas as atenções em termos de protecção radiológica, porém actualmente tem havido um crescente estudo e interesse na avaliação da exposição dos trabalhadores nas extremidades, bem como as suas implicações. Isto está relacionado muito especialmente com a evolução tecnológica na área da Medicina Nuclear (PET, PET/CT), mas também devido às técnicas radiológicas de intervenção.

Dosimetria de extremidades

Realizando a caracterização das doses de extremidade de forma similar ao realizado para as de corpo inteiro, é possível obter o histograma de distribuição de doses. Porém dadas poucas instituições terem este tipo de controlo dosimétrico, a elaboração da distribuição de doses teria maior representatividade do panorama nacional por análise conjunta de todas as valências radiológicas.

Analogamente, os intervalos de dose considerados foram definidos com atenção ao limite a partir do qual deveria haver controlo de extremidade de forma obrigatória (25 mSv)^[7], 50 mSv que é o limite de exposição anual para a pele e extremidades para os membros do público. Os limiares seguintes foram 150 mSv, que é 3/10 do limite anual para trabalhadores profissionalmente expostos, e 500 mSv, que é o limite anual propriamente dito.

Tabela 16 – Histograma dos valores de H_p(Ext).

Dose (mSv)	2004		2005		2006		2007	
	Número	(%)	Número	(%)	Número	(%)	Número	(%)
< 25	74	97,37	55	96,49	117	97,50	110	90,16
25 ≤ H _p (Ext) < 50	0	0,00	2	3,51	2	1,67	10	8,20
50 ≤ H _p (Ext) < 150	2	2,63	0	0,00	0	0,00	1	0,82
150 ≤ H _p (Ext) < 500	0	0,00	0	0,00	1	0,83	0	0,00
≥ 500	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,82
Total	76		57		120		122	

Dosimetria de extremidades - Caracterização por profissão

Por outro lado, a caracterização dos valores médios recebidos nas extremidades foi considerada para cada uma das valências radiológicas.

Tabela 17 – Valor Médio da Dose de Extremidade em Radioterapia.

Categoria	H _p (Ext)
Geral	0,00
MED	0,00
TEC	---
FIS	---
ENF	0,00
Outras	---

Tabela 18 – Valor Médio da Dose de Extremidade em Medicina Nuclear.

Categoria	H _p (Ext)
Geral	9,85
MED	4,20
TEC	18,85
FIS	4,72
ENF	10,37
Outras	1,55

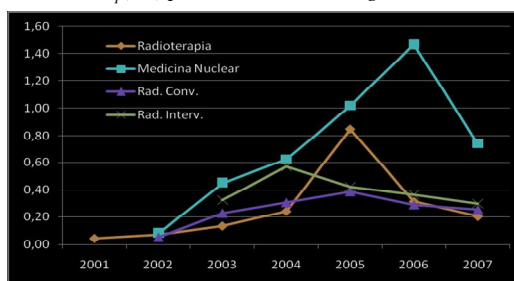
Tabela 19 – Valor Médio da Dose de Extremidade em Radiologia de Intervenção.

Categoria	H _p (Ext)
Geral	44,31
MED	76,43
TEC	---
FIS	5,71
ENF	1,36
Outras	0,00

Discussão

Os valores de dose recebida pelos trabalhadores portugueses na dosimetria de corpo inteiro estão claramente abaixo dos limites legais. Aliás, a grande maior parte dos trabalhadores controlados receberam uma dose inferior ao limite legal para membros do público, reflectindo a eficácia dos requisitos de protecção radiológicas das barreiras nas instalações radiológicas^[7]. Porém, estes requisitos não garantem que não sucedam erros de construção, que as próprias barreiras não se degradem com o tempo, ou irradiações acidentais. Daí que seja da maior importância o controlo dosimétrico dos trabalhadores profissionalmente expostos a radiação ionizante, conforme se constata pelos valores mais relevantes recebidos em especial na Radiologia Convencional.

Gráfico 1 – Evolução do valor médio anual do H_p(10) por valência radiológica.



Em todo o caso, os valores recebidos são aproximados entre as várias valências, salientando-se a Medicina Nuclear, cujos valores médios anuais são relativamente superiores, apesar de baixos.

Pela análise dos histogramas de distribuição de doses pelas várias valências, constata-se destacadamente que as de Radiologia (Convencional e de Intervenção) são as que apresentam maior quantidade de valores acima dos 6 mSv.

Por categorias profissionais constata-se que na Medicina Nuclear são os enfermeiros com maior valor médio superior à média geral de 2007. Isto deve-se ao facto de que são estes profissionais que injectam os radiofármacos e prestam assistência de forma mais próxima aos pacientes a tratar ou diagnosticar. Nas restantes valências as médias por categorias são bastante próximas, não se podendo destacar alguma em especial. Também constata-se que os estudantes são formandos com baixas exposições a radiações, estando bastante abaixo da média geral da valência, que não os inclui.

Com a dosimetria de extremidades, verifica-se que mais de 90% dos controlos estão abaixo dos 25 mSv. Porém convém ressaltar que a quantidade de profissionais que possuem este tipo de controlo é uma pequena fracção de todos os trabalhadores monitorizados. Nos últimos dois anos salientaram-se dois casos devido a técnicas de intervenção, chegando um deles a ultrapassar em cerca de 5 vezes o limite anual para as extremidades. Os valores obtidos para a Radiologia de Intervenção apresentam um claro valor médio alto devido a este último caso de sobreexposição. Se desprezássemos este caso, o valor médio geral cairia para 2,77 mSv, enquanto para a categoria dos médicos ficaria pelos 3,77 mSv.

Por categorias profissionais constata-se que na Medicina Nuclear são os técnicos (de medicina nuclear e farmacêuticos) com maior valor médio em 2007. Isto deve-se ao facto de que são estes profissionais que preparam os radiofármacos e os chegam a injectar nos pacientes a tratar ou diagnosticar.

Conclusões

Os profissionais expostos nacionais executam as suas funções claramente dentro dos limites legais e com valores semelhantes a outros estudos nacionais^[10] e a de outros países^{[11], [12]}. Porém comprovou-se com estes resultados que mesmo nas técnicas tidas como mais seguras, têm ocorrido eventos que justificam a necessidade de existir um permanente controlo através da dosimetria individual.

Por outro lado, comprova-se que a dosimetria de extremidades deve ser considerada como muito relevante para as valências de Medicina Nuclear e de Radiologia de Intervenção, em especial devido aos riscos de contaminação e irradiação nas mãos.

A dosimetria individual é a primeira linha de alerta para a detecção de exposições anómalas a radiações, pelo que é da maior importância o seu correcto e bom uso e posicionamento pelos profissionais.

Referências

- [1] International Standard - CEI/IEC 1066, 1991.
- [2] *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Pergamon – Oxford, 1991 (ICRP 60).*
- [3] Decreto Regulamentar n° 9/90, de 14 de Abril.
- [4] Directiva Europeia 96/29/EURATOM, de 13 de Maio de 1996.
- [5] *International Atomic Energy Agency. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for Safety of Radiation Sources. Safety Series No. 115. Vienna: IAEA; 1996.*
- [6] *Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2000 Relatório para a Assembleia Geral, com Anexos Científicos, Nova Iorque, Nações Unidas 2000.*
- [7] Decreto-Lei n°180/2002, de 8 de Agosto.
- [8] Circular Normativa 06/DSA, de 6 de Abril de 2003.
- [9] Decreto-Lei n° 167/2002, de 18 de Julho.
- [10] *Occupational exposure in medical and paramedical professions in Portugal - Careiro JV, Avelar R., Radiation Protection Dosimetry 1991; 36: 233–6.*
- [11] *Occupational exposure of medical radiation workers, Acta Medica Lituanica. 2007. Vol. 14. No. 3. P. 155–15.*
- [12]. *Occupational exposure to external ionizing radiation in Poland - Koczynski A, Chec A, Lach D, Dabek M, 1999. Radiation Protection Dosimetry 2001; 96: 61–2.*