



Alisson Vilas Boas

Aplicação da legislação às instalações de radioterapia, visando a proteção no ambiente ocupacional. Estudo de caso: INCA-RJ

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio.

Orientadora: Prof^a. Ana Cristina M. G. Carvalho

Rio de Janeiro

Junho de 2021



Alisson Vilas Boas

Aplicação da legislação às instalações de radioterapia, visando a proteção no ambiente ocupacional. Estudo de caso: INCA-RJ

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo.

Prof^a. Ana Cristina Malheiros Gonçalves Carvalho

Orientadora

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – PUC-Rio

Prof^o. Celso Romanel

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – PUC-Rio

Prof^o. Robson Spinelli Gomes

Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho

Rio de Janeiro, 29 de junho de 2021.

Todos os direitos reservados. A reprodução total ou parcial do trabalho é proibida sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Alisson Vilas Boas

Engenheiro Civil graduado pela Universidade Estadual de Maringá desde 2002. Especialista em Gestão Empresarial pela UNIVEL e em Gestão da Qualidade em Produtos e Processos pela PUC-PR. Durante o exercício da profissão atuou em diversas obras e projetos de construção civil no estado do Paraná. Atualmente, atua como engenheiro civil na Divisão de Engenharia e Infraestrutura do Instituto Nacional do Câncer, Ministério da Saúde, no Rio de Janeiro.

Ficha Catalográfica

Vilas Boas, Alisson

Aplicação da legislação às instalações de radioterapia, visando a proteção no ambiente ocupacional. Estudo de caso: INCA-RJ / Alisson Vilas Boas; orientadora: Ana Cristina Malheiros Gonçalves Carvalho – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2021.

159 f.: il.; 29,7 cm

1. Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Civil – Dissertação. 2. Engenharia Urbana e Ambiental – Dissertação. 3. Radiação. 4. Radiação Ionizante. 5. Radioproteção. 6. Saúde Ocupacional. 7. Legislação. I. Carvalho, Ana Cristina M. G. II Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

Aos meus pais por todo amor e carinho.

Agradecimentos

A Deus por tudo.

Aos meus pais, Durval e Terezinha que são meus exemplos, por todo amor, carinho e incentivo à minha formação.

Aos meus irmãos Dálkia e Alessandro; aos sobrinhos Lucas, Alana, Paulo e Márcia pela nossa amizade.

Aos amigos Beatriz e Vinicius pelos momentos divertidos ao longo desta empreitada.

Aos distintos profissionais do Instituto Nacional do Câncer que contribuíram e possibilitaram acesso às informações para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas da turma de mestrado da PUC-Rio e aos professores e funcionários do Departamento.

Aos distintos professores que participaram da Comissão examinadora.

E principalmente à professora Ana Cristina, minha orientadora, por ceder o seu tempo e contribuir com valiosas diretrizes.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Resumo

Vilas Boas, Alisson; Carvalho, Ana Cristina Malheiros Gonçalves (Orientadora). **Aplicação da legislação às instalações de radioterapia, visando a proteção no ambiente ocupacional. Estudo de caso: INCA-RJ.** Rio de Janeiro, 2021. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta dissertação aborda a aplicação da legislação às instalações de radioterapia visando à proteção no ambiente ocupacional. O estudo de caso foi realizado no INCA, na unidade HC 1, um hospital público vinculado ao SUS, situado no Rio de Janeiro. Ao menos 52% dos casos de câncer são tratados através de técnicas medicinais que envolvem a radiação ionizante. Estas técnicas são aplicadas através dos equipamentos de telecobaltoterapia, aceleradores lineares de partículas ou ainda, através de aplicações de radiofármacos diretamente nos pacientes. A radiação possui particularidades físicas que, apesar de suas vantagens como tratamentos, em doses elevadas, são nocivas e podem causar sérios danos ao organismo. A radiação ionizante recebida é cumulativa e, ao longo do tempo, os danos eventualmente provocados são severos. Durante os tratamentos na radioterapia é imprescindível manter condições seguras quanto às blindagens, inclusão de equipamentos de proteção, treinamentos e supervisão constante para que os profissionais que atuam nestas áreas não sofram exposição excessiva. Ao longo das últimas décadas foram elaboradas legislações e normas de segurança que visam proteger a saúde dos indivíduos ocupacionalmente expostos que operam diretamente com a radioatividade. Esta pesquisa teve como objetivo apresentar as principais legislações relacionadas à saúde e segurança no meio ambiente ocupacional que visam à radioproteção para os IOE no setor de radioterapia do INCA. Verificou-se que as medidas de segurança adotadas pela Instituição são as previstas na legislação tornando possível manter o atendimento aos pacientes e garantir a segurança dos profissionais envolvidos, dos usuários e do meio ambiente de modo geral.

Palavras-chaves

Radiação ionizante. Radioproteção. Saúde Ocupacional. Legislação. Indivíduos Ocupacionalmente Expostos.

Extended Abstract

Vilas Boas, Alisson. Carvalho, Ana Cristina Malheiros Gonçalves (Advisor). Application of legislation to radiotherapy facilities aiming at protection in the occupational environment. Case study: INCA-RJ. Rio de Janeiro, 2021. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

1. Introduction

The study addresses at relevant laws that guide and regulate the use of ionizing radiation in radiotherapy services inside a public hospital (INCA - National Cancer Institute, HC 1), situated in Rio de Janeiro, Brazil.

Radioactivity is a phenomenon of natural origin easily found in the environment or artificially generated. It has beneficial applications being applied in agriculture, energy production, industry and medicine in health treatments. It brings harmful effects when used inappropriately, as it has physical peculiarities that, despite of advantages, in high-level doses can cause severe damage to the body (PERUZZO, 2012).

During radiotherapy treatments, it is essential to maintain safe shielding conditions, including protective equipment and constant supervision so that professionals working in these areas do not suffer excessive exposure. Radiotherapy assists in the treatment of diseases using diagnostic and therapy techniques employing radioactive substances such as Cesium, Cobalt, Iodine, Technetium among others. These substances are present in radiopharmaceuticals, applied directly to patients through brachytherapy techniques or into the capsules installed in the pieces of equipment used in teletherapy.

Currently, regulation of activities involving radioprotection and nuclear safety in Brazil is under the responsibility of the CNEN (National Nuclear Energy Commission), an autarchy of the Ministry of Science, Technology and Innovations. It is a government agency responsible for licensing and controlling all practices involving ionizing radiation.

2. Objective

The main objective of this study is to present the laws related to health and safety in the occupational environment that aim at radioprotection for IOE in the radiotherapy sector in a public hospital in Rio de Janeiro (INCA, HC 1).

The secondary objectives are verifications of legislation including standard CNEN NN 3.01 (which deals with the basic guidelines for radiation protection); NR 32, (dealing with health and safety at work in health services and the standard); RDC N° 20/2006 of ANVISA, which establishes the technical regulation for the operation of radiotherapy services aiming at defending the health of patients, the professionals involved and the general public. It also includes the presentation of the PPR (Radiological and Protection Plan) existing in the Radiotherapy Service of the hospital under study and, lastly, presenting the institution's facilities and the necessary control measures for the practice of radiotherapy in a safe way for the OEI that guarantee your protection and safety in the workplace.

3. Foundations and concepts

The penetrating of radiation is different and can vary according to their frequency, energy and, consequently, they cause different effects when reach living matter (figure 1).

Ionizing radiation has enough energy to remove electrons from atoms, generating ions. It removes the electrons from the constituent atoms of matter and generates ruptures of molecular bonds resulting in mutagenic actions. In this group are particles α , β , γ , X-ray, and cosmic rays. Non-ionizing radiation is the electromagnetic waves with less energy and frequency. It doesn't have necessary energy to produce the loss of the atom and their energy is insufficient to ionize the matter on which it falls. This energy has very little activity to break atomic bonds and includes radio waves, television, microwaves, infrared radiation, laser, and ultraviolet light (BREVIGLIERO et al., 2010).

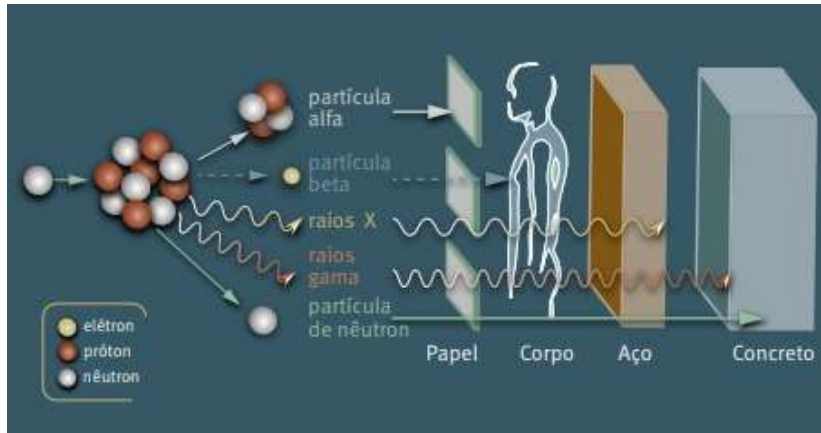


Figure 1: Penetrating energy power according radiation types.

Source: UNEP, 2016.

According to UNEP publications, three-quarters of workers exposed to artificial sources in the medical field have an effective annual dose of 0.5 m.Sv. Exposure to radiation caused by the area of radiology may vary depending on the region, country, and available health system. An average annual effective dose from medical radiation applications in industrialized countries is approximately 1.9 m.Sv and in non-industrialized countries close to 0.32 m.Sv.

Table 1: Global radiation exposure index for workers (m.Sv)*.

WORLD EXPOSURE INDEX (m.Sv)				
DECADE	1970	1980	1990	2000
Natural Source				
Air crew	-	3,0	3,0	3,0
Coal mining	-	0,9	0,7	2,4
Other mining	-	1,0	2,7	3,0
Various sources	-	6,0	4,8	4,8
Artificial Source				
Medical use	0,8	0,6	0,3	0,5
Nuclear industry	4,4	3,7	1,8	1,0
Other industries	1,6	1,4	0,5	0,3
Miscellaneous	1,1	0,6	0,2	0,1

Source: UNEP, 2016.

Radiotherapy is a medical specialty that uses ionizing radiation to achieve therapeutic results. Ionizing radiation has enough energy to release electrons from the structure of atoms in the cells of organisms.

It is divided into teletherapy (*tele*, from the greek word "at a distance"), realized using linear accelerators and brachytherapy (*brachys*, which means "short distance") a form of treatment that uses radioactive sources in direct contact with the tumour being indicated in about 10% of patients.



Figure 2: Linear accelerator device applied in teletherapy.

Source: Silva, 2010.

Radiological Protection aims to protect the environment and human life from the harmful damages that may eventually be caused by ionizing radiation; adequately manage and control exposures to ionizing radiation so that deterministic effects are prevented and the risk to stochastic effects is eliminated or reduced (ICRP, 1991). Radiological Protection activities follow four fundamental principles including the principle of justification; optimization principle; the principle of individual dose limitation; accident prevention in the workplace.

4. Research and data

The following information was obtained through visits to the hospital under analysis, (HC 1, INCA), interviews with institution's professionals (19 peoples), analysis of answers obtained in the inquiries (Appendage 01), and through consultation with official database of INCA made available to the author. The most relevant and considered critical by the author were compiled and are described in tables below.

Table 2: Compliance with the standard CNEN NN 3.01.

ITEM	DESCRIPTION	EVIDENCE	STATUS
5.3.2	<p>“Holders are responsible for establishing and programming the technical and organizational measures necessary to ensure the safety of the sources under their responsibility and the radiological protection in occupational exposures, medical exposures and public exposures.</p> <p>5.3.4 Holders must maintain a radiation protection structure sized according to the size of the installation, as established by CNEN.</p> <p>5.3.4.1 “This structure must have at least one individual qualified by CNEN as a radiological protection supervisor.”</p>	<p>Documentation issued by CNEN authorizing the practice of Radiotherapy activities at the facilities of HC I at INCA was verified.</p> <p>Copy of the PPR approved by CNEN was verified.</p> <p>Professional who acts as a radiological protection supervisor is authorized and qualified by CNEN.</p>	Checked / Ok
5.4.2	<p>“Limitation of individual dose</p> <p>The normal exposure of individuals should be restricted in such a way that neither the effective dose nor the equivalent dose in the organs or tissues of interest, caused by the possible combination of exposures originating from authorized practices, exceeds the dose limit specified in the table...”</p>	<p>Author was informed about the existence of a third-party company (Sapra Landauer Service of Advisory and Radiological Protection Ltd.) hired by INCA and responsible for the provision of area monitoring services and the dose absorbed by OEI exposed to ionizing radiation in their workplaces. This monitoring is performed in monthly cycles, through the use of chest monitors, carried as a badge, use of end monitors, in the form of a ring or bracelet</p>	Checked / Ok
5.7.5	<p>The OEI 's must: a) follow the rules and procedures applicable to radiological safety and protection specified by employers and owners, including participation in training related to radiological safety and protection that enables them to conduct their work in accordance with the requirements of this Standard.</p>	<p>A copy of the PPR approved by CNEN containing a specific training program for the OEI was verified. The Author identified, during the visit at the site under study, several training records for OEI's including attendance lists, lecture records, photographs, etc.</p>	Checked / Ok
5.8.1	<p>“For the purpose of managing radiation protection, cardholders should classify work areas with radiation or radioactive material into controlled areas, supervised areas or free areas</p>	<p>Areas where there is an incidence of ionizing radiation are monitored / supervised / identified and have strict access control</p>	Checked / Ok
5.10	<p>“Owners and employers must implement an occupational health program, for initial and periodic assessment of OEI fitness, based on general occupational health principles, based on the Occupational Health Medical Control Program.”</p>	<p>Despite all the rigorous control measures developed by the institution, an Occupational Health Medical Control Program linked to radiotherapy practices is not yet officially implemented, however, CNEN has authorized the operation of radiotherapy practices in the institution.</p>	Checked / partially

Source: Author.

Table 3: Compliance with the standard CNEN NN 6.10

ITEM	DESCRIÇÃO	REGISTRO/EVIDÊNCIA	STATUS
Chapter I - Seccion IV	<p>Art. 12 At the end of the construction, the holder of the Radiotherapy Service must apply to CNEN for Authorization for Operation by means of the SCRA document described in Annex III of CNEN Standard NN 6.02 Licensing of Radio Facilities and accompanied by the Final Safety Analysis Report of Art. installation, containing the installation project and the Radiological Protection Plan.</p> <p>Art. 13 The granting of the Operation Authorization will be guided based on the following requirements:</p> <p>I - conducting a compliance inspection by CNEN inspectors; and</p> <p>II - the Radiotherapy Service is technically qualified to conduct the requested operation, in accordance with the legal, regulatory and normative provisions.</p> <p>Single paragraph. The Operation Authorization will be granted to a Radiotherapy Service, considering the inventory of radiation sources to be used in the installation and the treatment techniques practiced.</p>	Documentation issued by CNEN authorizing the practice of Radiotherapy activities at the facilities of HC 1 INCA was verified.	Checked / Ok
Chapter II - Seccion III	<p>Art. 18: The protection supervisor radiology in the specific area of Radiotherapy of a Radiotherapy Service and its replacement must be professionals equally certified in accordance with the CNEN NN 7.01 Standard Certification of the Qualification of Radiological Protection Supervisors to work in radiotherapy</p> <p>Art. 19: The radiological protection supervisor can only assume responsibility for a single Radiotherapy Service.</p> <p>Art. 21 The radiological protection supervisor must analyze the results of individual and area controls and monitoring, of safety and radiological protection measures, calibration of radiological protection measurement instruments and provide the necessary corrections and / or repairs.</p>	<p>PPR with the appointment of the radiological protection supervisor was presented to the author.</p> <p>Supervisor is responsible for a single radiotherapy service, as provided in the Official documents published in government agencies.</p>	Checked / Ok
Chapter II - Seccion V	<p>Art. 25: Occupationally Exposed Individuals, the definition of which is contained in Norm CNEN-NN-3.01, of a Radiotherapy Service must:</p> <p>I - perform its activities in accordance with the</p>	A copy of the PPR approved by CNEN was verified, in addition to the training sheets of the technicians involved in the practice of radiotherapy. No adverse event	Checked / Ok

	<p>requirements and requirements of the radiation protection regulations established by the holder of the Radiotherapy Service;</p> <p>II - know and apply the rules of safety and radiation protection in accordance with the current legislation and the instructions of the radiation protection supervisor;</p> <p>III - apply appropriate actions to ensure the protection and safety of patients;</p> <p>IV - participate in the training programs offered by the Radiotherapy Service;</p> <p>V - participate in quality assurance activities in radiotherapy;</p> <p>VI - inform the radiological protection supervisor of any event that may influence the levels of exposure or the risk of an accident occurring; and</p> <p>VII - notify the holder, the technician responsible and the radiotherapy protection supervisor in radiotherapy about all items that are not in accordance with CNEN rules and Resolutions.</p>	/ accident was identified that could influence the increase in radiation.	
Chapter IV – Seccion II	<p>Art. 41 Treatment rooms must have:</p> <p>I - light signalling outside the room, with red light indicating that the radiation beam is on or that the radiation source is exposed, and green light indicating that the beam is off, or that the radiation source is collected in its shielding;</p> <p>II - electronic devices that allow the observation of patients in treatment conditions from the control room;</p> <p>III - device that allows oral communication with the patient during treatment from the control room;</p> <p>IV - identified device that makes it possible to open the treatment room door from the inside of the room;</p> <p>V - devices that make it possible to open the door of the room, from the outside, in the event of suspension of electricity; and</p> <p>VI - devices that enable the internal lighting of the treatment room in the event of suspension of electrical energy for the maximum time required to remove patients from the room.</p> <p>Art. 42 Treatment rooms must have security systems with defence in depth, redundancy and independence, with at least the following devices:</p> <p>I - emergency buttons located on the control panel and, inside the room, at its entrance and, at least, on one of the walls close to the radiation source; and</p> <p>II - interlocks at the treatment room doors that interrupt irradiation when the doors are opened.</p>	Place visited has adequate facilities and complies with Art. 41.	Checked / Ok

Chapter V	<p>Art. 71 The Radiological Protection Service must keep the following records filed and made available for consultation by occupationally exposed individuals and to CNEN inspectors:</p> <p>I - projects and / or modifications to installations, including the calculation and specifications of the shields;</p> <p>II - Radiological Protection Plan approved by CNEN;</p> <p>III - training programs with menu, workload, name of instructors and frequency record of occupationally exposed individuals;</p> <p>IV - Occupational Health Certificate for each occupationally exposed person;</p> <p>V - results of individual and area controls and monitoring;</p> <p>VI - radiological occurrences;</p> <p>VII - calibration certificates for measuring systems and instruments;</p> <p>VIII - measurement and repair results of measuring instruments;</p> <p>IX - results of the radiotherapy quality assurance program carried out at the Radiotherapy Service;</p> <p>X - maintenance and movement of radiation sources; and</p> <p>XI - management of radioactive waste.</p> <p>Single paragraph. Records must be made on media compatible with existing technology, with the guarantee of independent backup.</p>	<p>Author evidenced several records prepared by the radiological protection service, which are stored in the institution's database system.</p>	<p>Checked / Partially</p>
--------------	--	---	--------------------------------

Source: Author.

Table 4: Compliance with NR 32.

ITEM	DESCRIPTION	EVIDENCE	STATUS
32.4.2	It is mandatory to keep the PPR, approved by CNEN, at the workplace and at the labour inspection.	All servers and professionals in the radiotherapy sector have access to the PPR available on the Institution's electronic information system and server	Checked / Ok
32.4.2.1	The PPR must contain: a) be within the effective term; b) identify the responsible professional and his eventual replacement as effective members of the service's work team; c) be part of the establishment's PPRA; d) be considered in the design and implementation of the PCMSO; e) be presented at CIPA, when existing in the company, with a copy attached to the minutes of this commission	PPR presented is in period of validity and the practice of radiotherapy services authorized by CNEN. However, despite meeting NR 07 and NR 09 regarding PPRA (Environmental Risk Prevention Program) and PCMSO (Occupational Health Medical Control Program) respectively, this documentation is not still officially established at the institution.	Checked / Partially
32.4.4	Every worker with confirmed pregnancy must be removed from activities with ionizing radiation, and must be relocated to an activity compatible with her level of education	No pregnant worker was found during the interview. However, there is adequate information restricting access to pregnant women in the controlled and monitored areas	Checked / Ok
32.4.5	Every radioactive installation must have individual and area monitoring. 32.4.5.1 The individual dosimeters must be obtained, calibrated and evaluated exclusively in individual monitoring laboratories accredited by CNEN. 32.4.5.2 The individual external monitoring, of whole body or extremities, must be done through dosimetry with monthly periodicity and considering the nature and intensity of the expected normal and potential exposures	Outsourced company Sapra Landauer Radiological Protection and Advisory Service Ltd. hired by INCA is responsible for providing the area monitoring services and the dose absorbed by OEL. There are several measures defined in the PPR that are taken in cases of excess radiation identified in the meters	Checked / Ok
32.4.11	The areas of the radioactive installation must be classified and have access control defined by the person responsible for radiation protection	All radiotherapy treatment rooms with LINAC or equipment or telecobalt therapy equipment are classified (as a controlled area). Have access barriers (armored doors) and adequate signaling	Checked / Ok

Source: Author. Data provided by INCA.

Table 5: Compliance with RDC nº 20/2006 ANVISA.

ITEM	DESCRIÇÃO DA NORMA	REGISTRO/EVIDÊNCIA	STATUS
2	Every radiotherapy service must be licensed by the local health authority of the State, Federal District or Municipality, in compliance with the requirements of this Regulation and other legislation in force.	The author was confirmed the existence of regularity before ANVISA and, therefore, released for the operation of radiotherapy services	Checked / Ok
5.1.8	Every radiotherapy service, public or private, must be registered in the National Register of Health Establishments of the Ministry of Health - CNES / MS.	In consultation with the cnen.gov.br website, it is possible to find the authorization for the operation of the radiotherapy services in the institution under study	Checked / Ok
5.4.1	The physical infrastructure of radiotherapy services must comply with RDC nº 50/2002 and CNEN rules.	The existence of shielding walls (concrete walls) and an access door was confirmed on site. The institution follows the recommendations of RDC nº 20/2006 and RDC nº 50/2002 on physical installations, in terms of shielding, lighting, signalling, air conditioning and access barriers.	Checked / Ok
	Authorization for operation, patient care and practice of Radiotherapy	Evidenced through the document issued by ANVISA authorizing the operation	Checked / Ok

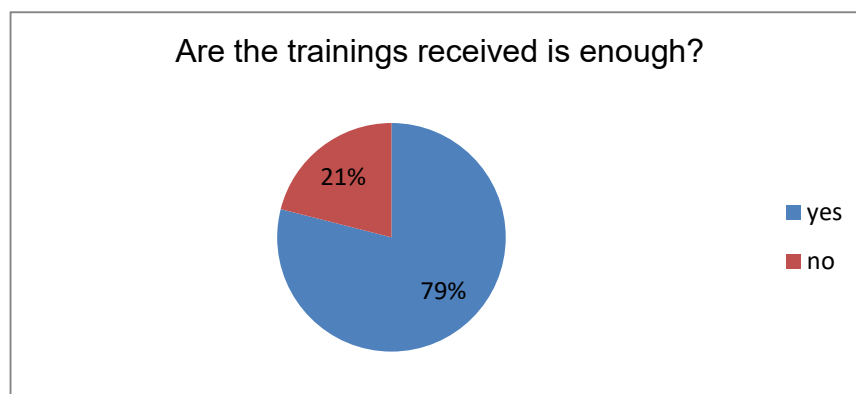
Source: Author. Data provided by INCA.

Among the 19 professionals in radiotherapy who answered the questionnaire, 11 were female and the others were male. It was found that the majority of respondents (almost 55%) were female professionals and this fact highlights the importance of employers complying with recommendations of CNEN NN 3.01, which provides guidance on the transfer of female professionals when in pregnancy, to develop activities in environments that are not exposed to radiation.

The professionals interviewed, 16 of them, confirmed that they had a working day of only 04 hours/day at the Institution (20 hours total a week). In the article 14th of Lei 7.394, provides for a working day a maximum 24 hours per week, which presupposes that the Institution complies with the legislation in this regard. However, at least 03 professionals confirmed working in another job, in overtime, as a radiotherapy technician.

According to NR 32, it is the employer's responsibility to carry constant training and updates on topics related to radioprotection for its employees. The 5.3.5 item of RDC No. 20/2006 of ANVISA delegates to the Radiological Protection Supervisor the competence to prepare, supervise, participate and review the periodic training programs in radiological protection for service professionals (BRASIL, NR 32, g) and (BRASIL, RDC No. 20, 2006, i). It was found that the Institution defines an Annual Training Program on updating and PR, detailing it in its PPR. The training is taught by professionals from the institution itself, held on a virtual platform, has an individual workload of 30 hours and contains various topics related to radiation and radiation protection.

When asked if the number of hours of training applied by the Institution was sufficient and consistent with the activities performed, 21% of workers answered that it was not enough and that it could be optimized. This fact shows the importance of the employer in maintaining effective strategies aimed at optimizing the training of their work team (Graphic 1).

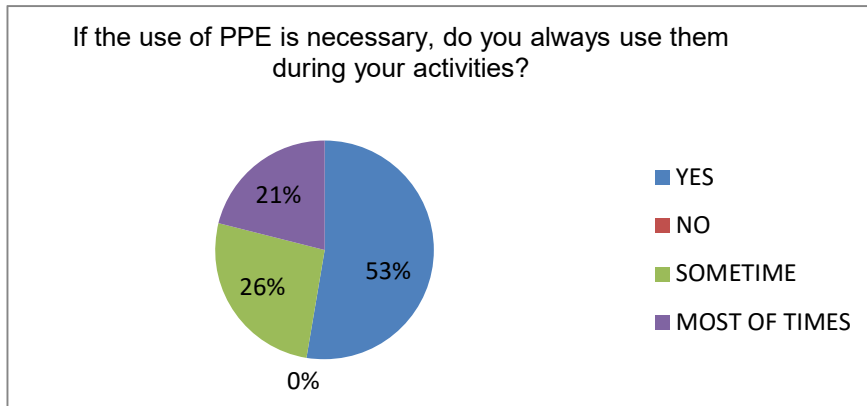


Graphic 1: Trainings received.

Source: Author. Data provided by INCA.

According to the recommendations of NR 06, the employer must provide workers with individual and collective protection equipment (EPI and EPC's) in order to keep them protected. (BRASIL, NR 06, b). Professionals were asked if, during their activities in places with the incidence of radiation, there was a need to carry PPE's and all answered "yes". However, when asked if everyone used them properly and, in the frequency, established by occupational health and safety standards, parts of the interviewed professionals answered that they did not use

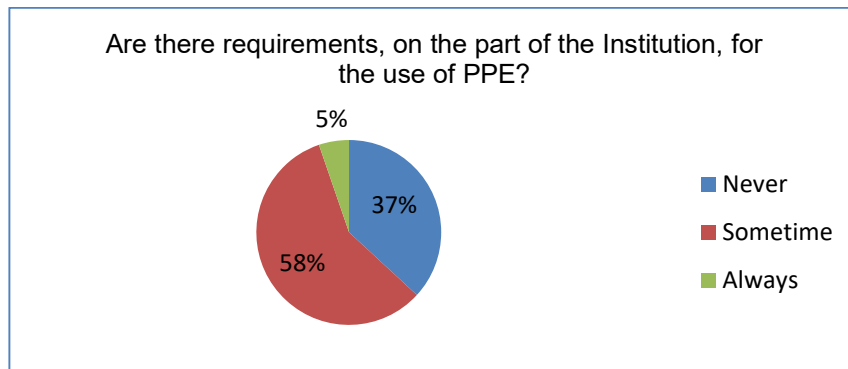
them correctly. Among the respondents, 21% answered “use it sometimes” and 26% answered “most of the time” (Graphic 2).



Graphic 2: Use of PPE.

Source: Author. Data provided by INCA.

According 37% of the interviewees (Graphic 3), the Institution does not formally require the use of protective equipment, despite providing them free of charge, it being the individual responsibility of each professional to adopt this commitment in their work routines.



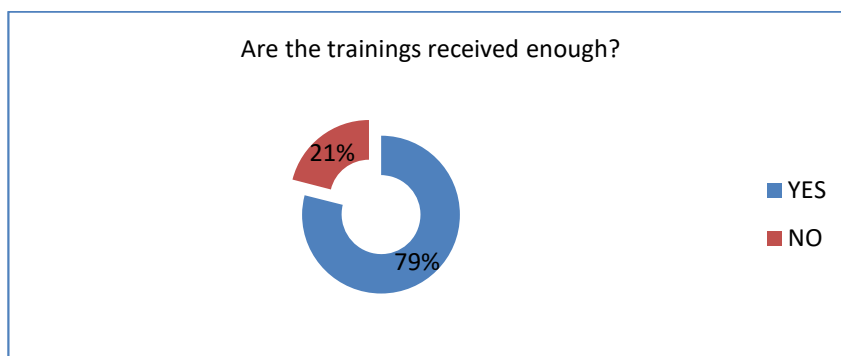
Graphic 3: Regarding the requirement to use PPE.

Source: Author. Data provided by INCA.

Regarding EPC's (shielded steel door, with access controls; wall shields (concrete); emergency lighting and signalling; means of communication between operation treatment rooms; monitors; on/off emergency buttons installed in the treatment devices - all professionals recognize the importance of these in areas subject to radioactive exposure.

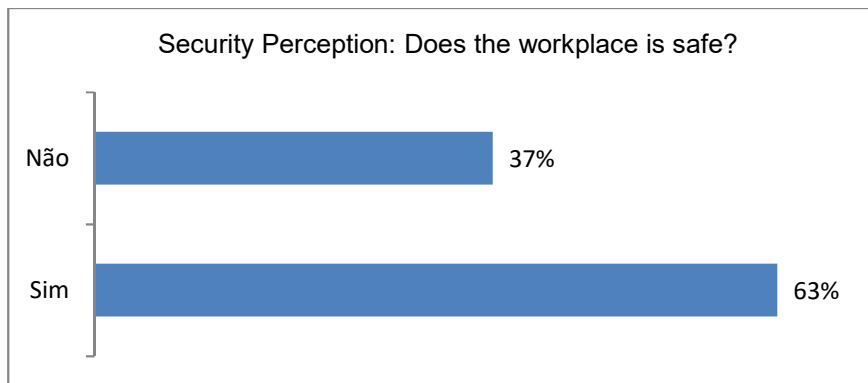
According to the recommendations of MS and CNEN legislation, IOEs must be continuously monitored as to the equivalent and effective doses received during their activities and operations where they may be subject to radiation. It was found in the Institution that individual monitoring is carried out monthly through individual dosimeters (badge type), placed on the body, (chest height), TLD and OSLD type models, provided by the Institution with the registration and control of the data managed by company Sapra Landauer Radiological Advisory and Protection Service.

When asked whether they used the individual dosimeters properly, following the requirements of the legislation and the Institution, almost all respondents, 90%, said they used them correctly (Graphic 4). Those who responded that they did not use dosimeters claimed that they had forgotten to carry them when accessing supervised access areas.



Graphic4: Are the trainings received enough?
 Source: Author. Data provided by INCA.

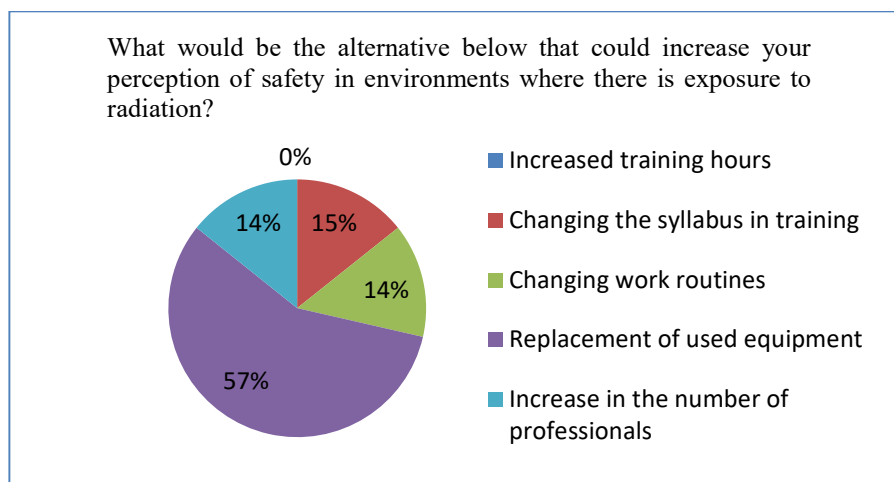
Professionals were asked about their perception of safety in the work environment subject to the incidence of radiation, considering the knowledge already obtained about the existing risks. The responses indicate that at least 37% do not feel safe and believe that additional measures should be taken to protect and secure their health (Graphic 5).



Graphic 5: Security Perception: does the workplace is safe?

Source: Author. Data provided by INCA.

Professionals were asked during the interview how their perception of safety in the work environment could be expanded and 57% of them answered that there should be a replacement of teletherapy equipment with new devices. Other imposed include: increase in training hours, improvements in the program content of the training presented and even an increase in the number of professionals in the sector (Graphic 6).



Graphic 6: Security Perception: Does the workplace is safe?

Source: Author. Data provided by INCA.

Some conditions pointed out by professionals that could be adjusted by the institution are highlighted, including carelessness in not using the PPE received properly; not carrying individual dosimeters in environments susceptible to radiation and also the fact that some professionals are not satisfied with the amount of training hours in radioprotection. By adopting these safety measures

governed by legislation, the Institution would further protect the user in general, minimizing the risks to its workers and the general public. Despite this, even if any failures are corrected, the risk of illness occurring in the IOE cannot be ruled out, as studies indicate that even with contingency measures and radiation precautions, there is a possibility of these occurrences.

5. Conclusion

This dissertation originated through the analysis of the data collected in the radiotherapy sector of the *Hospital do Câncer 1*, belonging to *Instituto Nacional do Câncer (INCA)* and the existing legislation regarding the care with ionizing radiation. After analysing the documentation made available, the on-site verification of compliance with various technical aspects on radioprotection and, also, considering the results of the research carried out in the studied sector, it is concluded that the INCA, in its HC 1 unit, complies with the legislation regarding radiation protection in the occupational environment.

One of the objectives of radiological protection is to avoid the unnecessary use of ionizing radiation, adequately justifying the procedures performed. As stated, considering the principles of radiation protection, exposure to radiation must always produce a sufficiently high benefit to compensate for the damage that the application of the radiation itself may cause to the individual. In this sense, the unit under study meets the safety measures for professionals as required by CNEN, although it does not have, to date, fully operational and implemented the PPRA in the radiotherapy sector, incurring in non-compliance with the legislation.

Employers of occupationally exposed individuals are responsible for radioprotection and thus must maintain the appropriate training program for those involved, containing information, recommendations and practices appropriate to the reality of the Institution, considering that they comply with all legislation in order to have safe management and handling practices ionizing radiation. In this aspect, the study clearly evidenced the adequate performance and commitment of the holder responsible for the radiotherapy service at INCA, added to the person responsible for the RP at the institution.

In general, the education and periodic training of professionals involved should be insisted on regarding the risks of radiation in their area of professional activity. The quality control of equipment, peripheral instruments and accessories used in radiotherapy must also be improved, and these must have a continuous maintenance program that allows reducing exposure to radiation, minimizing risks to patients, workers and the environment.

It is important to point out that some aspects of the risk to exposure are beyond the Institution's control, considering that, as the result of the survey with workers pointed out, some of them appeared not to take sufficient care of their obligations to comply with safety standards. Health problems would be avoided if there was a continuous commitment to comply with the existing regular guidelines. In this case, it is the Institution's responsibility to continue to comply with existing legislation, controlling and recording evidence of every application carried out in the various sectors of the treatment units. On the other hand, it is also the professional's duty to pay attention to these requirements, considering that the seriousness of the radioactive environment exceeds any justification that results in negligence in complying with legislation.

Keywords

Cancer; ionizing radiation; radiotherapy; radioprotection; legislation; occupationally exposed individuals.

SUMÁRIO

1	Introdução	33
1.1	Objetivos	35
1.2	Metodologia	36
1.2.1	Natureza e tipo da pesquisa	36
1.2.2	Materiais e métodos utilizados na pesquisa	37
1.2.3	Procedimentos de coleta de dados	37
1.3	Organização da dissertação	37
2.	A Radioatividade	40
2.1	A descoberta da radiação	40
2.2	Características da radiação	42
2.2.1	A radiação ionizante e não ionizante	44
2.2.2	O poder de penetração da radiação na matéria	45
2.2.3	Grandezas relevantes utilizadas na radiação	46
2.2.4	Tipos de fontes de radiação	47
2.2.4.1	Exposição à radiação	50
2.3	Aplicações da radiação na medicina	53
2.3.1	A medicina nuclear	57
3	A Radioterapia	60
3.1	A radioterapia: tratamentos com energia de radiação	60
3.1.1	A teleterapia	62
3.1.2	A braquiterapia	65
3.2	O panorama da radioterapia no Brasil	67

4	Saúde e Radioproteção	73
4.1	Saúde e higiene ocupacional	73
4.2	A radioproteção.....	74
4.2.1	Os princípios da Proteção Radiológica	75
4.3	Efeitos da radiação no ser humano.....	77
4.3.1	Efeitos biológicos da radiação ionizante.....	77
4.3.1.1	Efeitos biológicos determinísticos.....	80
4.3.1.2	Efeitos biológicos estocásticos	81
4.4	Efeitos da Radiação ionizante no meio ambiente.....	85
4.4.1	Efeitos da radiação ionizante nos IOE	85
4.5	Segurança e Proteção Radiológica	86
4.5.1	Conceito de Proteção Radiológica.....	86
4.5.2	Proteção Radiológica do Ecossistema.....	87
4.5.3	Situações de emergência	87
4.5.4	Os cuidados importantes para Proteção Radiológica.....	88
4.5.4.1	Tempo de permanência de exposição à radiação.....	88
4.5.4.2	A distância da fonte da radiação.....	89
4.5.4.3	Blindagem.....	90
4.5.5	O Plano de Proteção Radiológica (PPR).....	94
5.	O Arcaboço Jurídico na Proteção Radiológica	97
6.	Estudo de Caso	110
6.1	O problema a ser estudado	110
6.2	Levantamento das informações	110
7.	Apresentação dos Resultados	112
7.1	Caracterização geral do local em estudo	112

7.2	Resultados obtidos na coleta de dados.....	126
7.2.1	Informações obtidas através da pesquisa com os IOE	126
7.2.2	Dados referente ao atendimento das normas técnicas.....	133
7.2.3	Informações complementares obtidas no estudo.....	144
7.3	Discussão dos Resultados.....	146
8.	Conclusão	148
9.	Referências Bibliográficas	150

Lista de Figuras

Figura 1: O primeiro raiosX publicado por Wilhelm Röntgen em 1895.....	40
Figura 2: Espectro eletromagnético. Classificação das ondas.	44
Figura 3: O poder de penetração da energia.....	45
Figura 4: Pastilhas de aço inox e cerâmica.....	48
Figura 5: Ilustração da diferença entre contaminação e irradiação.....	49
Figura 6: Exposições médias do público em geral.	51
Figura 7: Fontes de utilização da energia ionizante	54
Figura 8: Aparelho de raios X convencional.....	56
Figura 9: Aparelho de raios X (mamografia).....	56
Figura 10: Aparelho de tomografia.	58
Figura 11: Frascos contendo cápsulas do radiofármaco ¹³¹ I.....	58
Figura 12: Detalhe de aparelho de telecobaltoterapia.....	63
Figura 13: Aparelho de telecobaltoterapia.....	64
Figura 14: Aparelho Acelerador linear utilizado na teleterapia.	65
Figura 15: Irradiador de braquiterapia, modelo Gammamed Plus.....	66
Figura 16: Croqui em 3D - casamata com blindagem em concreto.....	91
Figura 17: Croqui de uma sala com blindagem em concreto.	93
Figura 18: Sinalização - porta de acesso à área controlada.	96
Figura 19: Modelos dosímetros individuais do tipo TLD.....	102
Figura 20: Posições recomendadas para utilização dos dosímetros.....	103
Figura 21: Planta de localização do INCA HC 1.....	112
Figura 22: Prédio do INCA, HC I, Rio de Janeiro.	113
Figura 23: Porta sala de tratamento do aparelho Clinac 600 C.....	120
Figura 24: Planta baixa - aparelhos Clinac 600 C.	121
Figura 25: Aparelho Clinac 600 C instalado no INCA, HC I.	122
Figura 26: Planta baixa - aparelho Theratron 780 C.	123
Figura 27: Aparelho de teleterapia Theratron 780 C.	124
Figura 28: Símbolo internacional de radiação ionizante.....	136
Figura 29: Planta baixa típica para instalação de acelerador linear.	143
Figura 30: Símbolo da radiação em porta blindada.....	143
Figura 31: Porta sala de tomografia – sinalização gestantes.	144

Lista de Tabelas

Tabela 1: Resumo das principais grandezas utilizadas na radiação.	46
Tabela 2: Índice mundial de exposição à radiação (m.Sv).	52
Tabela 3: Quantidade de equipamentos de teleterapia no Brasil.	68
Tabela 4: Quantidade e tipo de serviços com braquiterapia.	69
Tabela 5: Técnicas radioterápicas em funcionamento.	70
Tabela 6: Indivíduos Ocupacionalmente Expostos - área da saúde.	71
Tabela 7: Efeitos e limiares da rádio exposição de corpo inteiro.	80
Tabela 8: Doenças relacionadas à radiação ionizante.	83
Tabela 9: Níveis e referências de dose de radiação	84
Tabela 10: Propriedades físicas dos materiais utilizados em blindagem.	92
Tabela 11: Limitação da dose individual.	100
Tabela 12: Principais legislações e NR's referentes a RI.	105
Tabela 13: Principais NR's - proteção da saúde ocupacional.	106
Tabela 14: Normas Nucleares Específicas.	108
Tabela 16: Inventário das fontes de radiação ionizante (INCA/HC I).	115
Tabela 15: Relação de profissionais no setor de radioterapia do HC I.	116
Tabela 17: Treinamento quanto à radioproteção.	128
Tabela 18: Atendimento aos itens da Norma CNEN NN 3.01.	134
Tabela 19: Quanto ao atendimento à Norma CNEN NN 6.10.	136
Tabela 20: Quanto ao atendimento à norma NR 32 da ANVISA.	139
Tabela 21: Quanto ao atendimento à RDC nº 20/2006 da ANVISA.	141

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Distribuição dos profissionais quanto ao sexo.	126
Gráfico 2: Distribuição quanto ao tempo de serviço no INCA.	127
Gráfico 3: Quanto ao grau de instrução.	127
Gráfico 4: Treinamentos aplicados pela Instituição.	129
Gráfico 5: Quanto à utilização dos EPI's.....	130
Gráfico 6: Quanto à exigência do uso do EPI.....	131
Gráfico 7: Quanto à utilização correta dos dosímetros individuais.	132
Gráfico 8: Quanto à percepção de segurança no ambiente radioativo...	132
Gráfico 9: Solução para melhoria da percepção quanto à segurança....	133

Lista de Abreviaturas

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ACGIH** - *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*
- AIEA** - Agência Internacional de Energia Atômica
- ANVISA** – Agência Nacional de Vigilância Sanitária
- CNEN** – Conselho Nacional de Engenharia Nuclear
- CNS** – Conselho Nacional de Saúde
- CF** – Constituição Federal
- DNA** - Ácido desoxirribonucléico
- GDOSE** - Gerência de Doses Ocupacionais Externas
- HDR** – *High Dose Rate*
- ICRU** - *International Commission on Radiological Units and Measurements*
- IGRT** - *Image Guided Radiotherapy*
- IN** – Instrução Normativa
- INCA** – Instituto Nacional do Câncer
- INEN** – Instituto Nacional de Engenharia Nacional
- IOE** – Indivíduos Ocupacionalmente Expostos
- IPEN** - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
- ICRP** - *International Commission on Radiological Protection*
- IRD** - Instituto de Radioproteção e Dosimetria
- LDR** – *Low Dose Rate*
- LINAC** - *Linear Particle Accelerator*
- MCTIC** - Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações
- ME** – Ministério da Economia
- MS** – Ministério da Saúde
- MT** - Ministério do Trabalho
- NR** – Norma Regulamentadora
- RI** - Radiações Ionizantes
- RNI** - Radiações não ionizantes
- RPAS** - Relatório Preliminar de Análise de Segurança
- SEI** – Sistema eletrônico de informações
- SESA** – Secretaria de Serviço Especializado a Saúde

SI - Sistema Internacional

SMIE – Serviços de Monitoramento Individual Externa

SUS – Sistema Único da Saúde

UNSCEAR – *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*

UNEP - *United Nations Environment Programme*

Lista de Símbolos

Am - Amerício

Au- Ouro

C - Carbono

Cs- Césio

Co –Cobalto

F - Flúor

K –Potássio

Kr - Criptônio

I–Iodo

In - Índio

Ir –Iródio

Ga - Gálio

Pd - Paládio

Po - Polônio

Ra - Rádio

Ru –Rutênio

Sm – Samário

Sr–Estrôncio

Ta- Tália

Tc - Tecnécio

U–Urânio

Xe - Xenon

A persistência é o menor caminho para o êxito.

Charles Chaplin

Introdução

A radioatividade é um fenômeno de origem natural facilmente encontrada no meio ambiente ou gerada artificialmente. Possui várias aplicações benéficas sendo utilizada na agricultura, produção de energia, indústria e medicina nos tratamentos de saúde. Apesar de que seus benefícios para utilização na sociedade, a radiação ionizante traz consigo alguns efeitos nocivos quando utilizada de forma inadequada.

Os riscos de propagação da energia da radiação nos trabalhadores e no público de modo geral devem ser constantemente avaliados e controlados. As atividades da medicina utilizando radiação, operação de energia nuclear em instalações energéticas, produção, transporte e uso de material radioativo em geral estão sujeitas à legislações e padrões de segurança específicos visando proteção ao meio ambiente e a saúde humana.

Nos últimos anos foram elaboradas diversas legislações que estabeleceram requisitos de segurança para a garantia de proteção dos profissionais envolvidos em ambientes onde há aplicação da radiação ionizante. Na medicina a prática de radioterapia oferece grande exposição em termos de dose coletiva aos profissionais da área, devendo, portanto, adotar rigorosas medidas de contenção e resguardo.

Segundo os estudos divulgados pela Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS) o câncer é a segunda *causa mortis* no mundo causando 9,6 milhões de falecimentos em 2018. (OPAS, 2018).

Globalmente uma em cada seis mortes está relacionada à doença e estima-se que no Brasil, durante o próximo triênio, haverá ao menos 625 mil novos casos de câncer a cada ano. Destes, ao menos 70% serão tratados com materiais radioativos através das técnicas de radioterapia que têm sido as mais eficazes. Dos pacientes recuperados do câncer, ao menos 49% são curados devido às cirurgias, 40% através da radioterapia isolada ou combinada com outras modalidades e 11% por quimioterapia isolada ou combinada (INCA, 2020).

Nos países desenvolvidos, estima-se que a taxa de utilização da radioterapia alcance 50% dos casos novos de câncer. Para os países de baixa e média renda estima-se que seja menor, em especial pela diferença dos tipos de câncer mais

incidentes e o elevado número de casos com diagnóstico da doença em estágio avançado, o que está relacionado à falta de outros recursos (INCA, 2020).

A radioterapia auxilia no tratamento de doenças utilizando técnicas de diagnóstico e de terapia empregando substâncias radioativas como o Césio (Cs), Cobalto (Co), Iodo (I), Tecnécio (Tc), Samário (Sm) entre outros. Estas substâncias geralmente estão presentes em medicamentos radiofármacos, aplicados diretamente nos pacientes através das técnicas de braquiterapia, ou então, estão embutidos em cápsulas instaladas nos equipamentos utilizados nas práticas de teleterapia para tratamento das enfermidades.

No momento de elaboração deste estudo, a regulamentação das atividades realizadas no Brasil que envolvem a radioproteção e segurança nuclear cabe à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), autarquia vinculada ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Este é responsável pelo licenciamento e controle de todas as práticas envolvendo radiação ionizante, exceto na área de radiologia médica e odontológica, que é regulada pelo Ministério da Saúde (MS) através da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). A CNEN também estabelece, edita, atualiza e fiscaliza a aplicação de normas e regulamentos baseado nos padrões de segurança quanto à utilização da energia de radiações ionizantes publicadas pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA).

Apesar dos esforços de alguns órgãos governamentais em difundir conhecimentos voltados para as atividades de Proteção Radiológica (PR) é pouco ainda o domínio do conhecimento a respeito dos efeitos nocivos produzidos por exposições que ultrapassam os limites permitidos entre os profissionais da área da saúde. Existe probabilidade de os elementos radioativos desencadearem efeitos indesejáveis no organismo, por isso, estes devem ser manipulados de modo muito cauteloso evitando acidentes e contaminações que possam causar danos à saúde dos IOE (Indivíduo Ocupacionalmente Exposto), dos pacientes, do público e ao meio ambiente.

Através dos dados divulgados pelo IRD (Instituto de Radioproteção e Dosimetria), estima-se que 80% dos trabalhadores que lidam com fontes emissoras de radiação ionizante pertencem ao setor da saúde. Esses dados ressaltam a responsabilidade que o poder público deve assumir perante a sociedade quanto à utilização e limitação da radiação. O conhecimento dos

equipamentos, a forma de utilização, processos do trabalho, a correta aplicação dos insumos radioativos, além do conhecimento das normas e legislações existentes são as ferramentas indispensáveis para identificação dos riscos nas instalações radioativas. É importantíssimo desenvolver na sociedade uma cultura, baseada nos princípios da radioproteção e prevenção de acidentes, que resultem em práticas seguras desta modalidade no tratamento de saúde.

1.1

Objetivos

O objetivo geral desta dissertação é apresentar as principais legislações relacionadas à saúde e segurança no meio ambiente ocupacional que visam à radioproteção para os IOE no setor de radioterapia do INCA (Instituto Nacional do Câncer) no Rio de Janeiro.

Os objetivos específicos são:

- 1) Verificar o atendimento das legislações que visam garantir a proteção do ambiente de trabalho onde há incidência de radiação ionizante incluindo: a) Norma da CNEN NN 3.01 (que trata sobre as diretrizes básicas de proteção radiológica); b) Norma nº 32 (que trata sobre a segurança e saúde no trabalho em serviços de saúde); c) RDC nº 20/2006 da ANVISA (que estabelece o regulamento técnico para o funcionamento de serviços de radioterapia, visando à defesa da saúde dos pacientes, dos profissionais envolvidos e do público em geral).
- 2) Apresentar o Plano de Proteção Radiológica (PPR) existente no Serviço de Radioterapia do hospital em estudo e a efetividade deste na prática, considerando as verificações, registros e evidências encontradas quanto à radioproteção;
- 3) Apresentar as instalações de radioterapia da Instituição em estudo; apresentar a composição e perfil da força de trabalho envolvida nas atividades da radioterapia; identificar as medidas de controles necessárias para a prática de radioterapia de modo

seguro para os IOE que garantem sua proteção e segurança no local de trabalho.

Este estudo limitar-se-á as atividades de radioterapia externa (teleterapia). Realizaram-se diversas visitas ao local do estudo para coleta de dados que incluem a verificação da estrutura organizacional dos serviços de radioterapia, a equipe de profissionais, as fontes radioativas utilizadas, as blindagens existentes, as atividades e rotinas desenvolvidas pelos profissionais, os equipamentos de proteções utilizados, além de outras informações relevantes do setor.

Mediante pesquisa bibliográfica apresenta-se a fundamentação teórica do trabalho envolvendo os principais conceitos de radiação, radioterapia e radioproteção, além de abordar as principais legislações vigentes sobre radioproteção, incluindo as normas da CNEN, da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) e as demais legislações pertinentes. Baseado nestas informações, o estudo apresenta as condições de trabalho no local que incluem o cumprimento das legislações e as medidas de proteção adotadas que atenuam os efeitos indesejados.

Atualmente a legislação brasileira relacionada à proteção de trabalhadores expostos a algum tipo de radiação ionizante está prevista pela Norma Regulamentadora nº 15, do antigo Ministério do Trabalho (MT), atual Ministério da Economia (ME), que discorre sobre atividades e operações insalubres, baseada na Norma CNEN NN 3.01 da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN, 2014 a).

1.2

Metodologia

1.2.1

Natureza e tipo da pesquisa

Esta dissertação aprofunda-se no conhecimento relativo à radiação ionizante proveniente dos equipamentos de radioterapia utilizados no tratamento contra o câncer e nas características da interação deste fenômeno físico com os profissionais da área da saúde, pacientes e demais envolvidos, tendo em vista analisar se a legislação específica existente, que visa proteger em relação a exposição, está sendo aplicada em toda sua extensão. Para sua elaboração, foi realizada a pesquisa do tipo exploratória tendo por objetivo proporcionar

familiaridade com o tema principal abordado mediante o levantamento bibliográfico, além de análise de exemplos que possibilitem o estímulo da compreensão. Em relação à abordagem, trata-se de pesquisa qualitativa.

1.2.2

Materiais e métodos utilizados na pesquisa

Os materiais utilizados neste estudo são os de fontes bibliográficas, incluindo artigos científicos, livros e teses sobre o tema “radioatividade na área da saúde, radioproteção e higiene ocupacional”. Analisaram-se diversos documentos incluindo o extenso arcabouço jurídico legal, aplicado na área da saúde para fins de proteção dos profissionais do meio ambiente do trabalho, principalmente aquelas publicadas pela CNEN e Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho, atual ME.

1.2.3

Procedimentos de coleta de dados

Os procedimentos de coleta de dados deste trabalho caracterizam-se como bibliográficos e documentais, visto que, foram utilizados materiais já elaborados, incluindo artigos científicos, livros, relatórios, informações de periódicos, documentos oficiais, regulamentos e dados de fontes dispersas reelaborados de acordo com o tema da pesquisa e explorados para posterior exposição das ideias. O autor complementou o estudo com aplicação de pesquisa de campo para coleta de informações incluindo entrevistas com profissionais pertencentes ao Instituto Nacional do Câncer (INCA).

1.3

Organização da dissertação

Esta dissertação foi organizada de modo a compor oito capítulos, assim distribuídos:

No **capítulo 1** se apresenta a justificativa que motiva a realização desta dissertação e a metodologia aplicada de modo geral. Uma sucinta descrição dos capítulos também é apresentada ao leitor contendo o roteiro da estrutura da dissertação.

No **capítulo 2** se inicia a fundamentação teórica da dissertação onde é contextualizado, de modo geral, o conceito de radiação, histórico, algumas características relevantes e a aplicação desta na medicina. Neste capítulo são apresentados alguns aspectos da medicina nuclear (utilização dos radioisótopos) além das características dos equipamentos utilizados em radioterapia que são emissores de radiação. Assim, possibilita ao leitor, a construção da base de entendimento necessário para compreender a abordagem do objeto de estudo propiciando melhor aproveitamento dos capítulos seguintes.

No **capítulo 3** é apresentada a definição de radioterapia, com descrições de características e interações com o tratamento da saúde, ocorrendo o aprofundamento do conhecimento quanto a sua aplicação, seja nos tratamentos utilizando o material radioativo diretamente nos pacientes (radioterapia interna) ou através da utilização dos complexos aparelhos utilizados na radioterapia externa. Neste capítulo são abordados alguns materiais radioativos utilizados na radioterapia, além dos aparelhos de raios X, telecobaltoterapia e acelerador linear. O cenário do setor de radioterapia no Brasil é apresentado incluindo a quantidade de profissionais da saúde em atividade atuantes nesta área.

O **capítulo 4** aborda o histórico, conceitos e aplicação de saúde e de higiene ocupacional voltado ao ambiente da radioterapia. A abordagem inclui análise pormenorizada dos efeitos biológicos das interações das radiações ionizantes no organismo do ser humano, apresentando diferentes dimensões de doses radioativas conforme as proporções de exposições. São também descritos os efeitos biológicos das exposições de curto e longo prazo, identificando os prováveis efeitos aos profissionais ocupacionalmente expostos, de acordo com as suas atribuições e atividades desenvolvidas. Apresenta os efeitos da radiação no meio ambiente e a importância da proteção radiológica para o meio ambiente ocupacional.

O **capítulo 5** apresenta a legislação aplicada aos ambientes da medicina e saúde que utilizam a radiação ionizante. Neste capítulo são relacionadas as principais legislações nacionais incluindo leis, decretos, resoluções a nível federal, além das exigências da CNEN e ANVISA quanto às medidas de proteção e segurança à saúde do IOE.

No **capítulo 6** são apresentados as informações relevantes do estudo de caso e os procedimentos para coleta de dados e informações.

O **capítulo 7** apresenta os resultados obtidos após a verificação no local do estudo. É apresentado o resultado das entrevistas, das condições encontradas no local visitado e os dados referentes ao atendimento das normas técnicas.

A discussão dos resultados e as considerações finais que completam o panorama da PR (Proteção Radiológica) do local estudado compõem o **Capítulo 8**, e, em função das expectativas criadas, são feitas algumas sugestões para ajustes futuros naquilo que couber.

2.

A Radioatividade

2.1

A descoberta da radiação

A humanidade sempre conviveu com a radioatividade e com as radiações eletromagnéticas ainda que nunca tenha percebido. A radiação é uma forma de energia que se propaga através do espaço na forma de ondas eletromagnéticas ou partículas.(PERUZZO, 2012, b).Na superfície da terra podem ser encontradas formas de energias provenientes dos raios cósmicos de estrelas, planetas, radiação solar ultravioleta (UV), radiação visível (luz) e infravermelho (IV). Alguns átomos radioativos estão presentes no meio ambiente, nos alimentos e nos organismos. No solo estão os elementos radioativos naturais (radioisótopos) encontrados em rochas minerais, entre eles o urânio (^{238}U), tório (^{232}Th), rádio (^{226}Ra); nas plantas, em geral, encontra-se o carbono (^{14}C) e potássio (^{40}K); no sangue e nos ossos dos seres vivos é possível encontrar componentes naturais radioativos entre eles o ^{40}Po , ^{14}C e o ^{226}Ra . (BREVIGLIERO et al, 2010).

Devido ao avanço tecnológico dos últimos anos, foi possível manipular as fontes naturais e artificiais de radiação. As pesquisas relacionadas à radiação tiveram seu início a partir da descoberta dos raios X, Figura 1, identificada pelo físico Wilhelm Conrad Röntgen, em 1895, em Wurzburg, na Alemanha. (PERUZZO, 2012, b).



Figura1: O primeiro raios X publicado por Wilhelm Roentgen em 1895.

Fonte: Peruzzo, 2012(b).

Em 1896 o físico Henri Becquerel, ao assistir à apresentação de fotografias obtidas com raios X, interessou-se nas características fluorescentes que estes deixavam em determinadas substâncias e iniciou diversos estudos sobre o assunto. Executou experimentos e percebeu a emissão de radiações provenientes de sais de urânio. Identificou a ionização provocada nos gases descobrindo a radioatividade a qual inicialmente foi denominada como raios de Becquerel. (PERUZZO, 2012, a).

A partir de 1898 houve um intenso trabalho de pesquisa executado pelos cientistas Marie e Pierre Curie. Durante a realização dos experimentos ao longo de quatro anos de pesquisa, tiveram o êxito no descobrimento de dois novos elementos químicos, entre eles o Polônio (Po) e o Rádium (Ra), que expressavam elevadas propriedades radioativas. (PERUZZO, 2012, a).

A partir dos descobrimentos de elementos capazes de emitir a energia de radiações realizadas por Becquerel e pelo casal Curie, o físico Ernest Rutherford executou, com o objetivo de identificar o funcionamento físico por trás da radioatividade, o seguinte experimento:

(...) o material radioativo era colocado dentro de um invólucro de chumbo e a radiação emitida era colimada por uma abertura, resultando num feixe fino. Duas placas eletrizadas foram colocadas em planos perpendiculares à direção de propagação do feixe, e geravam um campo elétrico. O anteparo, constituído por uma chapa fotográfica, ou pintado com uma substância fluorescente, servia como visualizador do local de incidência da radiação. (PERUZZO, 2012, a, p. 4).

Rutherford identificou e conceituou a carga elétrica dos três tipos de radiações provenientes dos elementos com características radioativas, entre eles, as partículas alfas (α), beta (β) e raios gama (γ). (RAIMONDI, 2019).

No decorrer do experimento, a partícula α , desviava-se com sentido à placa elétrica negativa, determinando a sua composição em partículas de carga positiva. Já as partículas β , desviava-se em direção à placa positiva demonstrando a carga negativa em sua composição. O feixe de radiação γ , por não sofrer desvios de sua trajetória, apresentou possuir uma carga elétrica neutra. (PERUZZO, 2012, a).

Com estas informações, cientistas como Ernest Rutherford e Frederick Soddy, previram a utilização da energia radioativa de modo útil para a humanidade, como na medicina e na produção de energia. A partir destes eventos, iniciou-se a idealização e pesquisa a fim de transformar a energia radioativa em utilidade para sociedade de modo geral. (PERUZZO, 2012, a).

A radioatividade descreve a desintegração dos átomos. Este é diferenciado pelo número de prótons existente em seu núcleo. Certos elementos naturais são instáveis, portanto, seus núcleos se desintegram ou decaem e liberam energia na forma de radiação. Esse fenômeno físico é chamado de radioatividade, enquanto os átomos radioativos são chamados de radionuclídeos. (DOROW, MEDEIROS, 2019).

2.2

Características da radiação

A radiação é uma forma de energia irradiada ou transmitida que se propaga através do espaço na forma de ondas eletromagnéticas (fótons de raios X ou γ) ou partículas (elétrons, prótons e nêutrons). As radiações ionizantes podem ter procedência nuclear (radiações de partículas α , β e raios γ) ou atômica (raios X). São variáveis em tempo e espaço e viajam no ar na velocidade da luz (BREVIGLIERO *et al.* 2010).

Os raios X e γ são ondas eletromagnéticas (assim como a luz, ondas de rádio AM/FM e ondas para celulares). O que os diferencia são a frequência e, devido a isso, sua quantidade energia. Os raios X são as ondas eletromagnéticas com energia suficiente capaz de causar a ionização dos átomos.

Considera-se radiação ionizante qualquer partícula ou radiação eletromagnética que, ao interagir com a matéria, remove elétrons dos átomos ou de moléculas, transformando-os em íons, de forma direta ou indiretamente. As partículas alfa, beta e raios gama, emitidos por fontes radioativas, bem como os raios X, emitidas pelos respectivos aparelhos, são radiações ionizantes. (CARDOSO, 2003).

De acordo a frequência e energia, as ondas eletromagnéticas podem ser classificadas como radiação ionizante (RI) ou radiação não ionizante (RNI). Uma onda eletromagnética é caracterizada pelo comprimento ou frequência de onda e

as várias faixas constituem o espectro eletromagnético, iniciando de ondas de frequência extremamente baixa, (ondas de rádio, televisão, micro-ondas, radiação infravermelha, luz visível, radiação ultravioleta) até chegar aos raios X e raios γ . Na Figura 2 é possível identificar a classificação da radiação de acordo ao espectro eletromagnético. (OKUNO *et al.* 1982).

As radiações são classificadas de acordo às suas principais características:

a) Radiação alfa (α): são partículas provenientes de emissões do núcleo de átomos instáveis. Apresentam uma grande quantidade de energia em curtas distâncias, limitando seu poder de penetração. A maioria das partículas não consegue atravessar poucos centímetros de ar, uma folha de papel ou a camada externa da pele. Na exposição humana, seus efeitos são observados em nível do tecido cutâneo, pois a radiação é facilmente atenuada pela camada superficial da pele. Porém, em casos de exposição acidental introduzida no organismo humano, por ingestão ou inalação, torna-se uma importante fonte de exposição interna nos órgãos e tecidos devido a sua toxicidade. Este tipo de radiação é o mais nocivo (BREVIGLIERO *et al.*, 2010).

b) Radiação beta (β): são partículas emitidas por núcleos de átomos instáveis. Seu alcance no ar é até 3 metros e penetra mais facilmente na matéria comparada com a radiação alfa. A maior parte das partículas β pode ser blindada por camadas finas de plástico, vidro ou alumínio. Os danos biológicos causados por esta radiação incluem danos aos olhos e à pele em função de sua maior penetração no tecido exposto. Ao serem inaladas ou ingeridas, também se tornam uma importante fonte de exposição interna (BREVIGLIERO *et al.*, 2010).

c) Radiação gama (γ) e raios X: são ondas eletromagnéticas de altíssima energia e de frequência elevada. A diferença entre os raios X e os raios γ está na sua origem. Os raios X são originados por movimentos de elétrons e os raios γ têm origem no núcleo do átomo. Não possuem massa e ambos possuem alto poder de penetração. Assim, precisam ser blindados por materiais densos, entre eles o concreto, chumbo ou aço. Devido ao seu poder de penetração e seu nível de energia os danos causados no organismo humano são mais profundos (BREVIGLIERO *et al.*, 2010). Dentre os males causados ao organismo inclui a anemia, leucemia, câncer e ainda alterações de ordem genéticas comprometendo fisicamente o DNA (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

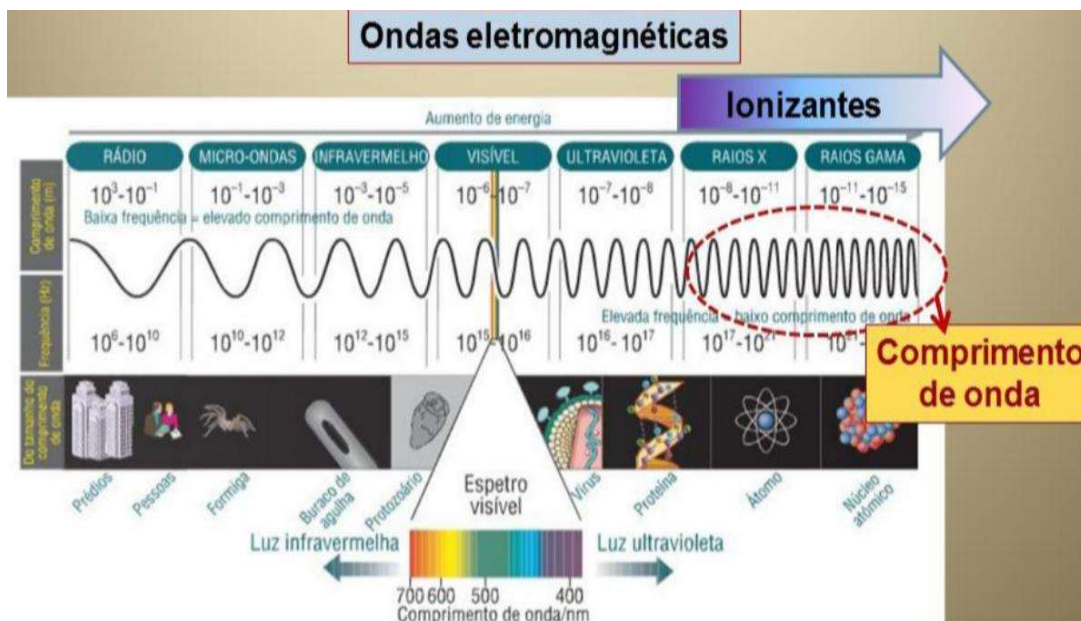


Figura2: Espectro eletromagnético. Classificação das ondas.

Fonte: Brevigliero et. al., 2010.

Conforme mostra a Figura 2, o que diferencia uma radiação da outra é o seu nível de energia, o seu comprimento de onda e a sua frequência. Ressalta-se que quanto maior a frequência de uma radiação, maior é a sua energia e menor é seu comprimento de onda. Os raios γ , cuja frequência está acima de 10^{21} Hz, são as de maiores frequências e energias e, por isso as mais nocivas ao ser humano devido ao seu alto poder de penetração. (BREVIGLIERO *et al.*, 2010).

2.2.1

A radiação ionizante e não ionizante

A radiação ionizante possui energia suficiente para remover os elétrons dos átomos, gerando íons. Essa energia é suficiente para retirar os elétrons dos átomos constituintes da matéria gerando rupturas de ligações moleculares e alteração em nível celular (DNA), ocasionando em ações mutagênicas. Fazem parte deste grupo as partículas α , β , raios γ , raios X e os raios cósmicos. (BREVIGLIERO *et al.*, 2010).

A radiação não ionizante são as ondas eletromagnéticas de menor energia e menor frequência quando comparadas às radiações ionizantes. Estas não possuem energia necessária para produzir a perda do átomo e são insuficientes para ionizar a matéria sobre a qual incide. Apesar de possuir atividade muito

pequena para quebrar ligações atômicas também geram riscos significativos à saúde e não devem ser desconsideradas. São exemplos de radiação não ionizante as ondas de rádio, televisão, micro-ondas, radiação infravermelha, laser e luz ultravioleta. (BREVIGLIERO *et al.*, 2010).

2.2.2

O poder de penetração da radiação na matéria

A energia da radiação apresenta diferente forma de penetração causando diferentes efeitos quando atingem a matéria viva (Figura 3). Considerando que as partículas α são compostas de dois prótons carregados positivamente e dois nêutrons, ela carrega a maior carga de energia dentre todos os tipos de radiação. Essa carga acentuada traduz que as partículas interagem em maior escala com os átomos ao seu redor. Essa interação reduz rapidamente a energia da partícula e reduz seu poder de penetração. As partículas α podem ser bloqueadas por uma simples folha de papel. As partículas β , compostas de elétrons carregados negativamente, carregam pouca carga, são mais penetrantes que as partículas α e podem atravessar um ou dois centímetros de tecido vivo. Os raios γ e X são extremamente penetrantes e podem atravessar qualquer material com densidade inferior uma chapa de aço. As partículas de nêutrons, produzidas artificialmente, são emitidas de um núcleo instável como resultado de uma fissão atômica ou uma fusão nuclear. Possuem um alto poder de penetração quando interagem com um material ou tecido, mas podem ser impedidos por materiais densos como o concreto. (UNEP, 2016).

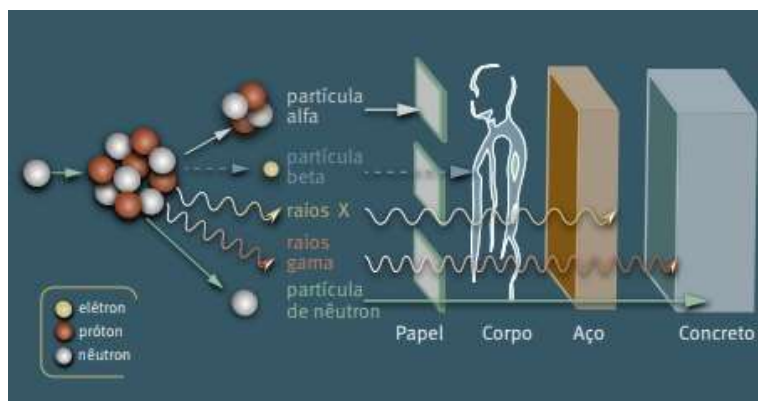


Figura 3: O poder de penetração da energia.

Fonte: UNEP, 2016.

2.2.3

Grandezas relevantes utilizadas na radiação

As unidades de radiação são aquelas medidas utilizadas para exprimir a atividade e características principais de um radionuclídeo e a forma como ela se manifesta. São utilizadas em múltiplas aplicações das radiações ionizantes na indústria, na medicina e em outros campos. As principais grandezas aplicadas na radiação são as descritas na Tabela 1. (CNEN, 2014, a).

Tabela 1: Resumo das principais grandezas utilizadas na radiação.

Grandeza	Símbolo	Unidade (SI)	Definição
Atividade	A	Bequerel (Bq) (unidade antiga é o Curie (Ci)) 1Ci = 37GBq;	$A=dN/dt$, desintegrações por segundo(s^{-1})
Exposição	X	C/kg (unidade antiga é o Roentgen) 1 R= 2,58 x 10 ⁻⁴ C kg ⁻¹	Mede a capacidade de a radiação produzir ionizações no ar, de modo a mensurar a carga elétrica produzida, $X=dQ/dm$
Dose Absorvida	D	Gray (Gy) (unidade antiga: RAD - Radiation Absorbed Dose) 1 Gy = 100 rad (J/kg)	Dose Absorvida no órgão: Representa a energia média depositada pela radiação ionizante na matéria. É a quantidade de energia da radiação absorvida (ΔE) por um elemento de massa (Δm). $D = dE / dm$
Dose Equivalente	H _T	Sievert (Sv) (unidade antiga: o REM- Röntgen Equivalent Man)	Representa a quantidade de dose equivalente para a geração do efeito biológico; nesse caso, considera a capacidade de ionização da radiação
Dose Efetiva	E	Sievert (Sv)	Somatório das doses equivalentes ponderadas nos órgãos e tecidos.

Fonte: CNEN, 2014, a.

2.2.4

Tipos de fontes de radiação

Pode-se considerar que os materiais radioativos, naturais ou artificiais, se apresentam em dois formatos de fontes de radiação, dividindo-se em fontes seladas e não seladas.

As fontes seladas são aquelas que estão acondicionadas, encapsuladas e protegidas. O invólucro evita que seja possível entrar em contato diretamente com o material radioativo o que resultaria em alguma forma de contaminação. Apesar de atenuar a radiação, a embalagem não tem como propósito impedir que esta seja emitida e a atividade do material radioativo prossegue de forma natural emitindo radiação conforme suas características (Figura 05).

De forma genérica, fonte radioativa selada é o material radioativo encapsulado ou aderido fortemente em material não radioativo, capaz de prevenir a perda ou dispersão do material radioativo sob as condições mais graves que possam ocorrer em situação normal de uso. Outros materiais radioativos são considerados fontes não seladas. (VICENTE, 2002).

Estas fontes são aplicadas na radioterapia na prática de braquiterapia (um modo de tratamento de lesões que se baseia na inserção de fontes ativadas em tumores) onde o material radioativo está em contato direto com o organismo do paciente, porém devidamente acondicionado. A radiação, neste caso, é pequena e estará atuando na forma de tratamento. São exemplos as pastilhas e agulhas de aço e/ou cerâmica contendo sais de estrôncio (^{90}Sr), irídio (^{192}Ir) ou amerício (^{241}Am). Durante as práticas de teleterapia (radioterapia à distância utilizando equipamentos do tipo telecobaltoterapia) o material radioativo utilizado também se encontra isolado, selado, dentro de um cilindro metálico duplamente encapsulado (sais de ^{60}Co ou ^{137}Cs). A radiação emitida por estes materiais só é disparada ao tratamento do órgão/tumor mediante o acionamento do equipamento. (VICENTE, 2002).

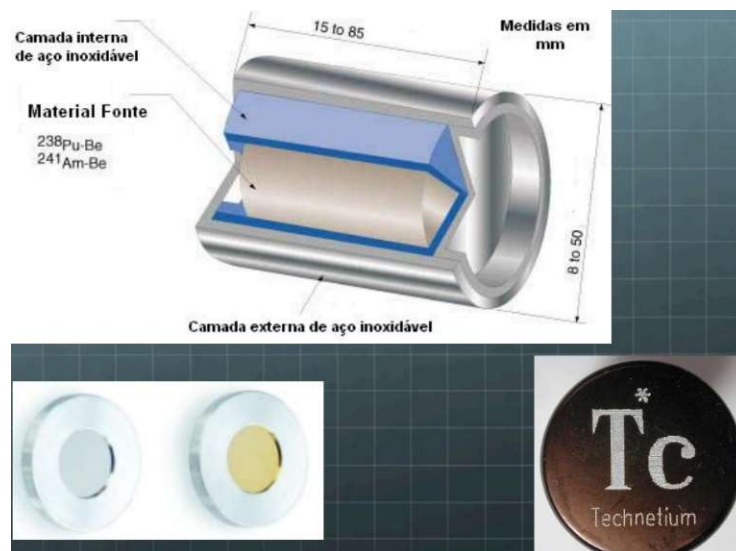


Figura 4: Pastilhas de aço inox e cerâmica.

Fonte: Vicente, 2002.

As fontes radioativas não seladas são aquelas em que o radioisótopo não está acondicionado em qualquer tipo de embalagem, mas sim associado à outra substância. Neste caso, estão os radiofármacos, componentes utilizados e manipulados por profissionais da área de medicina nuclear a fim de aplicações em tratamento e/ou diagnóstico de enfermidades ou em centros de pesquisa. Por estarem em meio líquido, estes componentes podem ser incorporados ao organismo, através de inalação, absorção cutânea e/ou ingestão resultando em algum tipo de risco à saúde.

De acordo com Dantas (2009), a irradiação na célula humana pode levar às seguintes situações e consequências:

- Retardo no processo de divisão celular (mitose);
- Causar a apoptose (morte da célula antes de sua reprodução);
- Falhas na capacidade de reprodução, resultando em uma instabilidade genômica;
- Causar mutação celular: a célula sobrevive contendo mutações diversas;
- Transformação: a célula sobrevive, mas a mutação leva a uma transformação fenotípica e à possibilidade de carcinogênese;
- Efeito *by Stander*: uma célula irradiada pode enviar um sinal para uma célula vizinha que não foi irradiada e induzi-la a sofrer mutação;
- Resposta adaptativa: A célula irradiada é estimulada a reagir e torna-se mais resistente à irradiação subsequente;

- Considerando as condições probabilísticas, não produzir nenhum efeito.

Os objetos e organismos não se tornam radioativos ao serem expostos às fontes radioativas. De acordo ao autor Azevedo (2010), a irradiação é originada pelos procedimentos com raios X (no caso do radiodiagnóstico) ou através dos feixes de elétrons ou raios γ nos tratamentos de radioterapia. Nestes casos o paciente recebe a radiação, mas não se torna radioativo e não causa riscos de contaminar outras pessoas ou o meio ambiente. A contaminação pode ocorrer de forma indesejável quando há contato próximo com as fontes radiativas não seladas. Esta é uma situação mais comum que pode ocorrer quando há tratamentos através da medicina nuclear, como a iodoterapia onde há presença de radiofármacos (medicamentos que envolvem elementos radioativos). Nestes casos, os radiofármacos são injetados diretamente no paciente e este fica radioativo ou, conforme a dose recebida pode contaminar outras pessoas, objetos e o ambiente de entorno.

Assim, a contaminação radioativa evidencia-se pela presença de materiais indesejáveis em certo local e a radiação é a exposição de um objeto à radiação (Figura 5). (AZEVEDO, 2010).

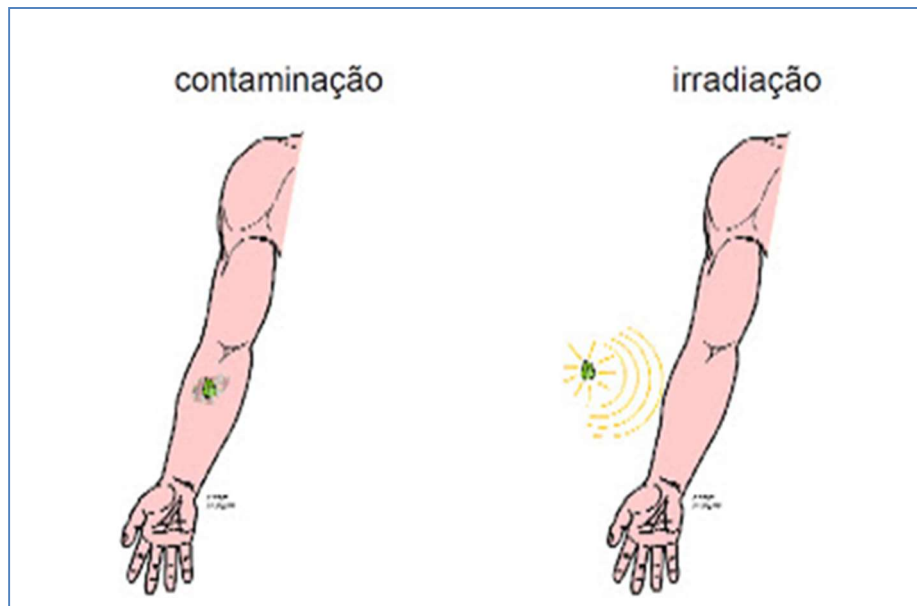


Figura 5: Ilustração da diferença entre contaminação e irradiação.

Fonte: Cardoso, 2003.

O acidente que houve na cidade de Goiânia em outubro de 1987 é um exemplo do risco de contaminação quando há negligência quanto aos cuidados adequados com os materiais radioativos. Na ocasião, uma fonte radioativa de

^{137}Cs foi abandonada em um antigo aparelho de radioterapia. Neste caso, a fonte da irradiação ficava armazenada no interior de um equipamento de radioterapia (aparelho de telecobaltoterapia) dentro de uma cápsula de aço hermeticamente fechada. Após vários anos de uso o equipamento foi desativado, mas não houve o descomissionamento adequado assistidos por profissionais qualificados conforme as exigências da lei, e, em seu interior, foram mantidas a fonte radioativa com altíssima atividade. Dois catadores de sucatas encontraram o equipamento abandonado, destruíram a blindagem de aço deixando à mostra o componente radioativo. Este material radioativo foi espalhado pela vizinhança ao longo de duas semanas e várias pessoas foram sendo contaminadas. A CNEN foi convocada pra auxiliar no processo de descontaminação de ruas, casas, utensílios e pessoas. O volume de rejeitos radioativos devido a esta contaminação resultou em quase 3.500 m³ de materiais resultantes da demolição de sete casas, barracões, camadas de pavimentação e camadas dos solos removidos de três terrenos altamente contaminados. O acidente radioativo de Goiânia resultou diretamente na morte de quatro indivíduos, inúmeras pessoas tiveram doenças e lesões na pele e aproximadamente 110.000 pessoas passaram a ser monitoradas para avaliação da contaminação radioativa. (OKUNO, 2013).

Após este grave acidente, estabeleceu-se em normas da CNEN que qualquer dispositivo utilizando fontes radioativas na indústria, centros de pesquisa, medicina nuclear ou centros de radioterapia deveria ter profissionais devidamente qualificados para proteção contra radiação, a fim de participarem em todo processo de instalação, operação e descomissionamento.

2.2.4.1

Exposição à radiação

Segundo os estudos divulgados pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente em 2016 (UNEP, em inglês *United Nations Environment Programme*), as pessoas estão constantemente expostas à radiação ionizante. A dose efetiva média anual que o indivíduo recebe é cerca de 3,0 m.Sv. Desta exposição, aproximadamente 2,4 m.Sv são provenientes de fontes naturais (alimentos, os raios cósmicos, radônio e solo) e o restante proveniente de fontes

artificiais, principalmente da área da medicina, onde a dose efetiva anual média por indivíduo é de 0,62 m.Sv.

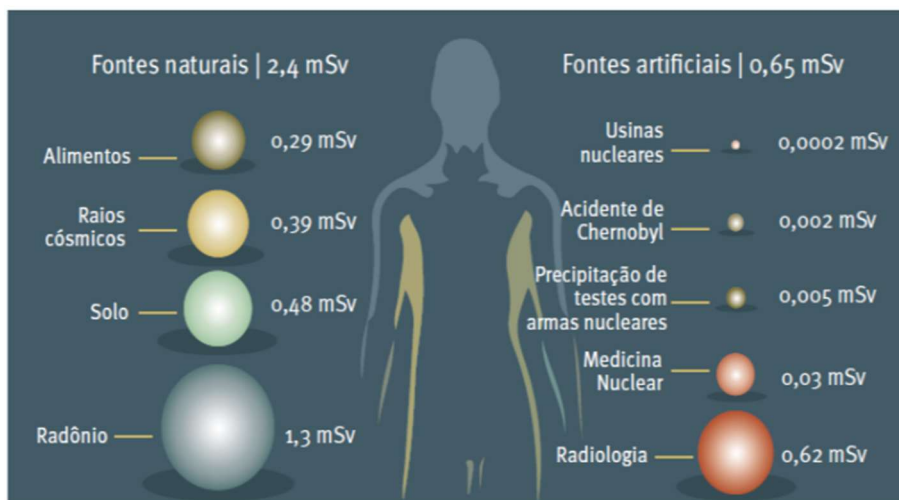


Figura6: Exposições médias do público em geral.

Fonte: UNEP, 2016.

De acordo as publicações da UNEP (2016), a exposição à radiação causada pela área de radiologia pode variar em função da região, país e sistema de saúde disponível. A dose efetiva anual média proveniente de aplicações médicas da radiação em países industrializados é de aproximadamente 1,9 m.Sv e em países não industrializados próximos a 0,32 m.Sv. Em algumas regiões dos Estados Unidos a dose efetiva anual média alcança a 3 m.Sv e no Quênia apenas 0,05 m.Sv. O número estimado atual de trabalhadores monitorados em todo o mundo é cerca de 23 milhões, e destes, 10 milhões estão expostos às fontes artificiais. Em geral, três quartos dos trabalhadores expostos às fontes artificiais são da área de medicina e recebe uma dose anual efetiva, em média, de 0,5 m.Sv. (UNEP, 2016).

De modo geral, uma avaliação de 2016 na tendência da dose efetiva média anual por trabalhador, mostrou que a exposição às fontes naturais aumentou principalmente devido aos serviços de mineração e diminuiu a exposição por fontes artificiais devido à implementação eficazes de medidas de proteção contra a radiação. (Tabela 2). (UNEP, 2016).

Tabela 2: Índice mundial de exposição à radiação (m.Sv).

ÍNDICE MUNDIAL DE EXPOSIÇÃO RADIOLÓGICA DE TRABALHADORES* (m.Sv)				
DÉCADA	1970	1980	1990	2000
Fontes Naturais				
Tripulação aérea	-	3,0	3,0	3,0
Mineração de carvão	-	0,9	0,7	2,4
Outras minerações **	-	1,0	2,7	3,0
Fontes diversas	-	6,0	4,8	4,8
Fontes Artificiais				
Uso médico	0,8	0,6	0,3	0,5
Indústria nuclear	4,4	3,7	1,8	1,0
Outras indústrias	1,6	1,4	0,5	0,3
Fontes diversas	1,1	0,6	0,2	0,1

Fonte: Adaptado daUNEP, 2016.

* Estimativas de dose efetiva média por trabalhador, em um ano.

** Mineração de Urânio está incluída na indústria nuclear.

A ICRP (*International Commission on Radiological Protection*, do inglês, Comissão Internacional de Proteção Radiológica) é uma organização não governamental independente, internacional, com a missão de proteger as pessoas, os animais e o meio ambiente dos efeitos nocivos da radiação ionizante. Suas recomendações constituem a base da política, regulamentos, diretrizes e práticas de proteção radiológica em todo o mundo. Este órgão descreve a exposição à radiação ionizante subdividindo-a entre:

- *Exposição do público*: Compreende todas as exposições que não são oriundas do trabalho ou tratamento.
- *Exposição médica*: são decorrentes das técnicas de diagnóstico e tratamento em indivíduos suspeitos ou enfermos que necessitam de alguma forma de terapia.
- *Exposição ocupacional*: ocorrem diretamente no processo de trabalho dos diferentes setores que utilizam alguma forma de radiação (agrícola, indústria, saúde e serviços).(ICRP, 1991).

2.3

Aplicações da radiação na medicina

Logo após a descoberta dos raios X iniciou-se a aplicação da radiação ionizante na medicina. Destarte a radiação artificial tenha sido aplicada nas áreas militares, na produção de eletricidade e em diversas aplicações domésticas foi na área da saúde que ela teve sua maior contribuição. (PERUZZO, 2012, b).

De acordo a Peruzzo (2012, b) uma das áreas que mais se beneficiaram dos conhecimentos, das técnicas e tecnologias desenvolvidas pela física nuclear foi a medicina. Para este autor:

O surgimento de novas fontes de radiação, cada qual com características próprias e um conhecimento mais profundo das interações entre radiação e células ou tecidos, possibilitou um maior sucesso no tratamento de tumores bem como tornou possível conhecer e diagnosticar melhor o organismo humano. (PERUZZO, 2012, b, p. 297).

A medicina moderna utiliza a tecnologia nuclear em radiologia (radiografia e medicina nuclear) e radioterapia sendo que, cada uma delas, possui suas particularidades e produzem diferentes resultados aos pacientes.

Segundo os dados divulgados pela UNEP, 2016, é na área da medicina que está concentrado a maior exposição à radiação artificial dentre todos os setores que a utilizam (Figura 7). As categorias médicas que envolvem a radiação são a radiologia (diagnóstico e tratamento), medicina nuclear e radioterapia.

Estima-se que entre os anos de 1997 e 2007 mais de 5,1 milhões de pacientes no mundo receberam tratamento através de radioterapia por ano. Atualmente, cerca de 4,7 milhões de pacientes receberam tratamento de teleterapia e quase 0,5 milhões receberam a braquiterapia. Nos países mais industrializados 25% da população mundial recebem cerca de 70% de todo o tratamento por radioterapia e 40% de todos os procedimentos de braquiterapia. Isso concorre em 98% da exposição à radiação de todas as fontes artificiais e, depois das exposições de fontes naturais, é o segundo maior contribuinte para a exposição da população representando aproximadamente 20% do total. Grande parte destas exposições ocorrenos países onde há melhores condições e cuidados na área da saúde incluindo tratamentos médicos adequados e aparelhos de radiologia em maior quantidade. (UNEP, 2016).



Figura 7: Fontes de utilização da energia ionizante

Fonte: UNEP, 2016.

Devido à crescente urbanização e melhorias na qualidade de vida nos últimos anos, foi inevitável que mais pessoas tivessem tido acesso a cuidados e tratamentos médicos. Como resultado, a população exposta à radiação ionizante devido a causas da saúde continua a aumentar em todo o mundo. A UNSCEAR, (*United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*, do inglês Comitê Científico das Nações Unidas sobre os Efeitos da Radiação Atômica) estuda os dados sobre procedimentos que aplicam a radioatividade para diagnóstico e terapia e aponta que entre os anos de 1997 e 2007 quase 3,6 bilhões de procedimentos médicos de radiação foram realizados por ano no mundo. No estudo dos anos anteriores, de 1991 a 1996, os números superaram a 2,5 bilhões de procedimentos médicos. O número de procedimentos de diagnóstico de medicina nuclear em todo o mundo aumentou de cerca de 24 milhões em 1988 para cerca de 33 milhões em 2007. Como resultado, a dose efetiva coletiva anual aumentou significativamente de 74.000sV para 202.000 sV. As aplicações terapêuticas na medicina nuclear moderna também vêm aumentando, com aproximadamente 900.000 pacientes em todo o mundo a cada ano. No entanto o uso da medicina nuclear ainda é muito desigual, sendo que 90% dos tratamentos que utilizam alguma forma de medicina através da radiação são provenientes dos países industrializados. (UNEP, 2016).

2.3.1

A radiologia

O campo da radiologia envolve os diagnósticos por imagem que utilizam equipamentos geradores de raios X onde, através da produção de radiação artificial, obtêm-se as imagens internas dos pacientes em estudo.

Dentre os procedimentos que utilizam os raios X estão a radiografia convencional, que utiliza os equipamentos similares ao da Figura 8, na realização de exames de tórax, crânio, coluna, extremidades, abdômen e de ortodontia. A radiografia especializada realiza os exames mais específicos incluindo a mamografia, angiografia, fluoroscopia e tomografia computadorizada. Estes são exames não invasivos, a fim de diagnósticos e que, através das imagens geradas via radiação e produzidas em software no computador, permitem a visualização de órgãos, estruturas e tecidos de forma muito mais detalhada que uma radiografia comum.

O uso mais frequente destes exames é para identificação de tumores, pois o detalhamento das imagens permite detectar pequenos nódulos. Em alguns casos é necessário administrar um composto radioativo ao paciente contendo o iodo (^{123}I) através de ingestão, sondas ou de forma intravenosa (contraste). Os aparelhos utilizados na tomografia computadorizada por emissão de pósitrons ou PET (sigla em inglês para *Positron Emission Tomography*) unificam a tomografia tradicional com métodos que mensuram a atividade metabólica de algum órgão ou região do corpo.



Figura 8: Aparelho de raios X convencional.

Fonte: www.tecnodesign.ind.br (i).

Como todo procedimento que utiliza a radiação, a radiologia também expõe o profissional a uma pequena quantidade de radiação ionizante (Figura 9). Devido a isso, o profissional deve portar os acessórios de proteção adequados no momento de atuação junto ao paciente.



Figura 9: Aparelho de raios X(mamografia).

Fonte: www.irsa.med.br (ii).

O equipamento moderno de varredura de órgão e tecidos através dos raios X é especificamente programado para emitir uma dose de radiação extremamente baixa. As chances de uma radiografia causar dano ao paciente são pequenas. Neste caso, os benefícios em termos do número de enfermidades detectados e posteriormente tratados são muito maiores que os riscos decorrentes da exposição à radiação.

2.3.1

A medicina nuclear

A medicina nuclear se relaciona à aplicação de radioisótopos diretamente no organismo. Esta é uma especialidade médica que emprega materiais radioativos com finalidade diagnóstica e terapêutica. As quantidades de materiais radioativos, denominados radiofármacos, são pequenas e seu uso é muito seguro. (OKUNO & YOSHIMURA, 2010).

Na medicina nuclear diagnóstica, os radiofármacos são inseridos no corpo do paciente através de injeção, ingestão ou inalação. Os compostos radiofármacos são potenciais emissores de radiação γ ou pósitrons e a energia ionizante emitida é suficiente para atravessar o corpo do paciente e chegar a um conjunto de detectores externos (tomógrafo gama-câmara, equipamento de detecção de raios γ usado na medicina nuclear, similar ao da Figura 10, que fará a leitura. O radiofármaco é então processado pelo órgão ou tecido específico e fornece informações sobre o funcionamento do órgão e não especificamente sobre sua anatomia. Os radiofármacos possuem meias-vidas física e biológica curtas, de forma a serem rapidamente eliminados do corpo do paciente. (OKUNO & YOSHIMURA, 2010).



Figura 10: Aparelho de tomografia.

Fonte: www.medicaexpo.com (iii).

Na medicina nuclear terapêutica, os radiofármacos utilizados possuem uma atividade maior e são usados para tratar algum órgão específico. As maiores aplicações terapêuticas na medicina nuclear são as que utilizam o radioisótopo ^{123}I ou ^{131}I , para tratar os tumores localizados na tireoide através da iodoterapia (Figura 11).



Figura 11: Frascos contendo cápsulas do radiofármaco ^{131}I .

Fonte: www.ipen.br (iv).

Outros radiofármacos utilizados na medicina nuclear são:

- Tecnécio 99 metaestável (^{99m}Tc): Radionuclídeo artificial, que possui meia-vida de aproximadamente 6 horas, ou seja, sua atividade reduz-se para metade a cada 6 horas;
- Tálcio (^{201}Tl): Tem suas propriedades químicas similares ao potássio;
- Gálio (^{67}Ga): É um emissor de média energia e apresenta semivida de 3 dias. É utilizado em estudos de infecção e em oncologia;
- Índio (^{111}In): Semivida de 3 dias. É um emissor de radiação γ de média energia;
- Xenon (^{133}Xe) e Criptônio (^{81m}Kr): Gases nobres radioativos que são utilizados na cintilografia de ventilação pulmonar;
- Flúor (^{18}F): Emite pósitrons e é utilizado nos exames do tipo PET-SCAN (Tomografia computadorizada por emissão de prótons). (OKUNO & YOSHIMURA, 2010).

3

A Radioterapia

3.1

A radioterapia: tratamentos com energia de radiação

A radioterapia é uma especialidade médica que utiliza a radiação ionizante aplicada no organismo em tecidos vivos para atingir resultados terapêuticos e eliminar as células tumorais. É um processo complexo que envolve a física médica, radio biologia, dosimetria, proteção radiológica, planejamento computadorizado, simulações e interação da radiação com outras formas de tratamento incluindo cirurgias e quimioterapia (WHO, 2018).

Para os autores Mourão *et al.* (2009), embora a radiação prejudique as células cancerosas e uma parte das células normais, estas últimas são capazes de reparar o dano de forma mais eficaz e voltar a funcionar corretamente, desde que respeitado o limite de toxicidade.

Considerando os autores Tauhata *et al.* (2013), o objetivo da radioterapia é fornecer uma dose precisa de radiação para um volume de tumor previamente definido, com o mínimo de dano possível aos tecidos circundantes. O resultado esperado é ampliar a qualidade de vida, o aumento da sobrevida do paciente e também a erradicação do tumor. Segundo estes autores, pelo fato de as radiações penetrantes do tipo raios X e raios γ induzirem danos em profundidades diversas do organismo humano e causarem a morte celular, estas são as razões de utilizar a radiação ionizante como terapia para o câncer. Os tumores profundos podem ser destruídos ou regredidos quando sofrem a ação de feixes de radiação γ desde que corretamente aplicados.

A radioterapia se iniciou através da utilização do elemento químico Ra(radio) pelas experiências realizadas pelo casal de físicos Curie no final do século XIX. Inicialmente foi chamada de *Curieterapia* e posteriormente outros radioisótopos passaram a ser utilizados e apresentaram um maior rendimento no tratamento das enfermidades. (CARDOSO, 2003).

Com a descoberta do *Radium 226*, ainda em 1898, por Pierre e Marie Curie, este elemento passa a ser inserido nos procedimentos terapêuticos, e as radiações nos tratamentos dos tumores malignos tornam-se uma constante. Entretanto, complicações

pós-cirúrgicas, em função dos desconhecimentos técnicos e científicos levaram as aplicações de radioterapia ao descrédito. Apenas no começo dos anos de 1900, as ações de raios X demonstraram ser fortemente direcionadas ao combate do câncer e de doenças de pele. (MAIA, 2015).

Conforme citado por Azevedo (2010), na radioterapia utilizam-se fontes artificiais de radiação provenientes de fontes elétricas ou de fontes não elétricas. As fontes elétricas de radiação utilizam a eletricidade como fonte de energia para acelerar as partículas e gerar a radiação ionizante. Estas só emitem radiação no momento em que são energizadas. Os equipamentos mais utilizados são os tubos de raios X e os aceleradores de partículas lineares, *LINAC's* (sigla em inglês para *Linear Particle Accelerator*). Estes aparelhos possuem tecnologia para produção de fótons de raios X e/ou elétrons. Os fótons destinam-se a irradiação mais profunda, enquanto os elétrons às irradiações mais superficiais. É também possível o tratamento de lesões superficiais com o emprego de equipamentos de raios X de ortovoltagem. Os aparelhos com fontes não elétricos possuem fontes radiativas vivas. Nesta categoria, encontram-se os irradiadores portadores de radioisótopos, como a bomba de ^{60}Co (aparelho de telecobaltoterapia), possuindo as fontes de radiação γ para tele e braquiterapia e os aplicadores oftalmológicos e dermatológicos com emissores de partículas β .

O tratamento do câncer usando radiação teve início nos anos de 1900 através de aparelhos emissores de raios X de baixa energia que operavam com capacidade entre 150KeV e 350KeV. A partir de 1950, a energia de tratamento foi sendo ampliada da faixa de KeV para MeV incluindo a utilização de aceleradores de 18 a 45 MeV e aparelhos contendo os radioisótopos como o ^{60}Co e ^{137}Cs . (BRASIL, 2010 (k)).

No Brasil, o início da radioterapia deu-se em 1901, no estado do Rio Grande do Sul, em tratamentos de câncer de pele e, posteriormente, em 1972, iniciou-se os tratamentos de radioterapia empregando o acelerador linear no Hospital Oswaldo Cruz em São Paulo. (BERDAKY, CALDAS. 2001).

Conforme o posicionamento da fonte radioativa em relação ao paciente, a radioterapia pode ser classificada em teleterapia ou braquiterapia. Na teleterapia a radiação está a certa distância do ponto em tratamento e na braquiterapia a fonte

de radiação é inserida diretamente no corpo do paciente ficando em contato direto com o tumor (de modo temporário ou permanente).

O objetivo da radioterapia é fornecer a dose necessária para controle de células danificadas poupando os tecidos e células saudáveis do entorno. O princípio básico da ação da radiação eletromagnética sobre um tecido vivo tumoral é a ionização de seus átomos ou moléculas com a consequente destruição das células malignas. O desfecho esperado é a melhora da qualidade de vida, o aumento da sobrevida do paciente e, preferencialmente, a erradicação do tumor.

A maior preocupação ao se utilizar o tratamento com a radioterapia é maximizar o dano no tecido tumoral preservando ao máximo os tecidos vizinhos saudáveis. O advento de novas fontes de radiação de características físicas próprias possibilitou novos métodos de tratamento onde a concentração de radiação no tecido tumoral pudesse ser maior e causando menores danos aos tecidos saudáveis do entorno. (PERUZZO, 2012).

A incidência da radiação no tecido doente provoca a morte das células cancerosas que são mais fracas que as demais. O tratamento é realizado sempre em várias sessões onde o tumor vai sendo irradiado aos poucos até ser eliminado. (PERUZZO, 2012 a, p. 304).

3.1.1

A teleterapia

Segundo o autor Silva, 2010, quando a radiação é emitida por um aparelho no qual a fonte onde é produzida a radiação ionizante encontra-se a uma distância entre 60 a 100 cm do tumor, a forma de tratamento radioterápico é chamada de teleterapia ou radioterapia externa.

As distâncias usualmente empregadas no tratamento são de 80 cm para os aparelhos contendo ^{60}Co de 100 cm para os equipamentos elétricos do tipo aceleradores linear (*LINAC's*).

A teleterapia (tele, do grego “à distância”), ou radioterapia externa, é realizada com uso de aceleradores lineares ou aparelhos de irradiação com fontes de cobalto. Nessa técnica, existe uma distância física entre o paciente e a fonte da radiação. (MARTA et al, 2012).

A teleterapia consiste na aplicação da radiação posicionada à distância da superfície do corpo humano em tratamento. Os equipamentos utilizados em teleterapia são os aceleradores lineares, máquinas de raios X e os equipamentos com fontes radioativas a base de ^{60}Co ou de ^{137}Cs . Estas substâncias são as mais utilizadas para destruir as células de tumores, pois estes são mais sensíveis à radiação do que os tecidos normais.

O equipamento de telecobaltoterapia é um dos aparelhos de teleterapia amplamente utilizado nos tratamentos de câncer através de irradiação γ . É um equipamento que possui alta tecnologia e contém uma pequena fonte radiativa de ^{60}Co , encapsulada e blindada para impedir a passagem da radiação. Antigamente utilizava-se como fonte de radiações partículas de ^{137}Cs , porém estas foram sendo substituídas pelas fontes de cobalto que apresentam maior rendimento na terapia. (DOROW, MEDEIROS. 2019).

Durante a utilização do aparelho a fonte se desloca da sua posição segura, dentro do cabeçote de proteção (feito de chumbo e aço inoxidável) para frente de um orifício (colimador), que permite a passagem de um feixe de radiação concentrado sobre a região a ser tratada ou irradiada. O sistema de colimação permite fixar o tamanho e o formato do campo de irradiação em conformidade com o procedimento terapêutico prescrito (Figura 12). Ao finalizar a aplicação da radiação a fonte é recolhida eletronicamente para a posição original e segura. (CARDOSO, 2003).

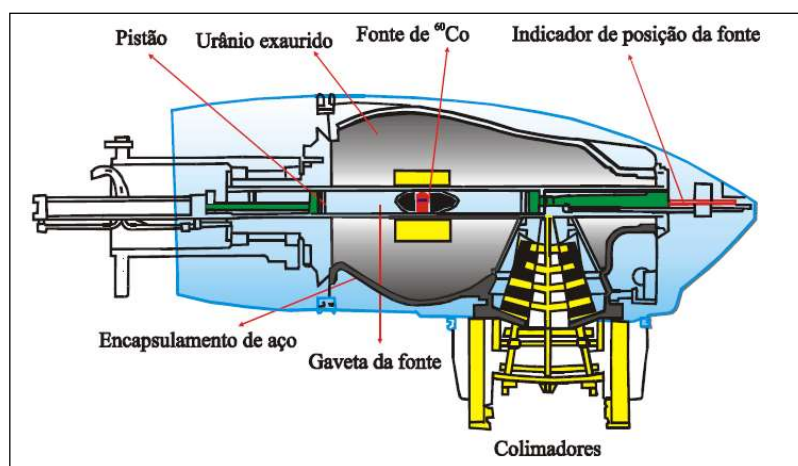


Figura 12: Detalhe de aparelho de telecobaltoterapia.

Fonte: Dantas, 2009.

Na Figura 13 é apresentado um aparelho de telecobaltoterapia que contém partículas de ^{60}Co .



Figura 13: Aparelho de telecobaltoterapia.

Fonte: Dantas, 2009.

Durante anos a maioria das terapias de radiação utilizou equipamentos à base de radiação por cobalto, porém, com o desenvolvimento tecnológico obtido a partir da Segunda Guerra Mundial, foi possível produzir aceleradores lineares utilizados com maior frequência na prática clínica a partir de 1952.

Os avanços no campo da física, relacionadas a um melhor entendimento dos mecanismos biofísicos da interação entre a radiação e matéria, forneceram uma grande base teórica para tratamentos que concentram quantidade de radiação em um determinado volume alvo, protegendo os tecidos normais e maximizando a destruição do tumor. (CAMPOS, 2006).

Os aceleradores lineares médicos, similares aos da Figura 14, utilizam feixes de elétrons mono energéticos que operam entre 4 e 30 MeV, produzindo uma saída de fótons de alta energia. Ao serem desligados estes equipamentos deixam de emitir radiação diferentemente daqueles que possuem fontes de cobalto que são emissores permanentes de radiação γ .



Figura 14: Aparelho Acelerador linear utilizado na teleterapia.

Fonte: Silva, 2010.

O aparelho *GammaKnife*®, utilizado desde 1968, é utilizado em radiocirurgias não invasivas e sem a utilização de cortes e contém múltiplas fontes de ^{60}Co . (DANTAS, 2009).

Na teleterapia, o risco ocupacional é menor, pois os pacientes ao receberem a radiação, ficam isolados em uma sala blindada (salas protegidas por espessas paredes, pisos e lajes de concreto ou por placas de chumbo) distante dos profissionais que estão acompanhando as atividades terapêuticas. O paciente é monitorado através de circuito interno de televisão e deve haver comunicação eletrônica entre o paciente e a equipe médica. (CNEN, 2017).

3.1.2

A braquiterapia

O termo braquiterapia foi primeiramente sugerido por Forsell, em 1931, para irradiação a curta distância. O termo *braqui* é de origem grega (traduzido por próximo) consistindo em uma forma de tratamento que utiliza fontes radioativas em contato direto com o tumor, indicado para cerca de 10% dos pacientes que se submetem à radioterapia.

Segundo Azevedo (2010), a braquiterapia é uma prática da radioterapia que utiliza uma ou mais fontes seladas emissoras de raios γ ou partículas β em aplicações superficiais, intracavitárias ou intersticiais do paciente.

Diferentemente dos métodos de teleterapia, a braquiterapia utiliza fontes radioativas para tratamento de câncer ou outras lesões de forma que esta é posicionada no interior ou próxima da região de interesse, como nos casos de câncer de próstata. (AZEVEDO, 2010).

O objetivo da braquiterapia é aplicar uma dose alta de radiação diretamente no tumor (regiões ginecológicas, próstatas, oftálmicas, intersticiais, intraluminais) enquanto poupa os tecidos normais do entorno. (SILVA, 2010).

Na modalidade, braquiterapia HDR (*High Dose Rate*), devido à alta taxa da dose é utilizado um irradiador específico que desloca a fonte (semente radiativa) no interior de cateteres, denominados aplicadores, e os recolhe ao término da exposição (Figura 15). O irradiador é composto por alojamento blindado, tubos de transferência, aplicadores e a fonte radioativa. A fonte fica acondicionada no interior da blindagem até ser movimentada para a posição de tratamento por intermédio de tubos de transferência. (SILVA, 2010).



Figura 15: Aparelho irradiador de braquiterapia.

Fonte: www.msreporter.com.br (v).

Usualmente os materiais radioativos aplicados são pequenas fontes seladas contendo materiais radioativos como as agulhas de ^{226}Ra , sementes de ^{137}Cs , ^{60}Co ou fios de ^{192}Ir . Estes compostos são colocados próximos aos tumores liberando

baixas doses de radiação, afetando ao mínimo os órgãos mais próximos e preservando os mais distantes da área da implantação. (TAHUATA *et al.* 2013).

Quanto às taxas de radiação aplicadas na braquiterapia, os procedimentos são classificados considerando:

- Baixa taxa de dose (LDR, do inglês *Low Dose Rate*: 0,4 – 2,0 Gy/h);
- Média taxa de dose (MDR, do inglês *Medium Dose Rate*: 2,0 – 12 Gy/h;
- Alta taxa de dose (HDR, do inglês *High Dose Rate*: > 12,0 Gy/h. (DOROW, MEDEIROS. 2019).

Quanto à duração de tratamento utilizando a braquiterapia podem ser classificados em:

- Permanentes: a fonte é implantada de forma permanente no paciente. Geralmente nestes procedimentos utilizam-se os isótopos de meia vida curta como ^{125}I , ^{103}Pd , ^{198}Au .
- Temporários: a fonte é inserida e depois removida do paciente, após o tratamento. Nestas situações, existe um melhor controle da dose no volume alvo através de planejamento da inserção. As fontes radioativas mais utilizadas são ^{137}Cs , e ^{192}Ir .

Nos dois tratamentos, teleterapia e braquiterapia, a energia da radiação é proveniente de fontes seladas, aquelas em que o profissional da saúde envolvido na aplicação do tratamento não tem contato com o material radioativo, pois a fonte está devidamente protegida.

Nestes casos, se houver alguma exposição ocupacional, a radiação será de modo externo, ou seja, quando não há inalação ou absorção de material radioativo diretamente pelo organismo.

3.2

O panorama da radioterapia no Brasil

3.2.1

Serviços de radioterapia em atividade no Brasil

Em 2013 iniciou-se uma intensa operacionalização no Ministério da Saúde contendo a um plano de expansão para tratamentos em radioterapia através do SUS visando à criação e ampliação destes serviços no Brasil. A partir daí foi

realizado um levantamento dos aparelhos disponíveis no país para tratamentos de câncer via serviços de radioterapia gerando a 1ª edição do Relatório Censo em Radioterapia, 2019 (BRASIL (m), 2019).

Deste documento foi possível compor as Tabelas 3 e 4 que apresentam as quantidades de serviços de radioterapia, incluindo teleterapia e braquiterapia, mostrando o parque tecnológico disponível em relação ao número de equipamentos existentes e em atividade no país.

Tabela 3: Quantidade de equipamentos de teleterapia no Brasil.

Estado	Nº Serviços de Radioterapia /Teleterapia	Tipos de Aparelho Aplicados			
		Acelerador Linear	Cobalto 60	Ortovoltagem	Gamma Knife
Alagoas	4	5	0	0	0
Amazonas	4	4	1	0	0
Bahia	10	16	1	0	0
Ceará	4	10	1	1	0
Distrito Federal	6	7	1	0	0
Espírito Santo	3	6	0	0	0
Goiás	4	7	0	1	0
Maranhão	2	2	1	0	0
Minas Gerais	28	43	0	1	0
Mato Grosso do Sul	5	3	1	1	0
Mato Grosso	4	4	0	1	0

Pará	5	9	0	0	0
Paraíba	3	6	0	1	0
Pernambuco	7	8	2	0	0
Piauí	2	3	0	0	0
Paraná	12	24	1	7	1
Rio de Janeiro	27	36	2	0	0
Rio Grande do Norte	2	5	1	0	0
Rondônia	2	1	1	0	0
Rio Grande do Sul	19	31	2	0	0
Santa Catarina	11	12	2	2	0
Sergipe	3	4	0	0	0
São Paulo	73	116	3	12	1
Tocantins	2	1	0	0	0
TOTAL	242	363	20	27	2

Fonte: BRASIL (m), Censo em Radioterapia, 2019.

Tabela 4: Quantidade e tipo de serviços com braquiterapia.

Tipo de Serviço	Nº Serviços de Radioterapia /Braquiterapia
Braquiterapia HDR	115
Braquiterapia LDR	117
TOTAL	232

Fonte: BRASIL (m), Censo em Radioterapia, 2019.

Além dos serviços citados, o censo aponta que há também outras técnicas radioterápicas em funcionamento no país, dentre elas as relacionadas na Tabela 5.

Tabela 5: Técnicas radioterápicas em funcionamento.

Técnica de Tratamento	Total de serviços
2 D	169
3 D	234
IMRT	130
VMAT	69
Radiocirurgias	97
Estereotáxica fracionada	92
Estereotáxica extracraniana– SBRT	58
Técnicas de IGRT	
Ultrassonografia	4
Implantes radiopacos e portal eletrônico (EPID)	42
ExactTract	15
Calypso	4
Tomografia de feixe cônico (Cone Beam)	48

Fonte: BRASIL (m), Censo em Radioterapia, 2019.

Através destas informações estima-se a quantidade elevada de profissionais em atuação nos setores de radioterapia em todo país expostos à radiação ionizante.

A Tabela 06 resume o número de profissionais atuantes em outras áreas da saúde e que também estão em situações de exposição à radiação.

Tabela 6: Indivíduos Ocupacionalmente Expostos - área da saúde.

CATEGORIA DO IOE	Total	Total Mulheres
Medicina Nuclear		
Médicos	1.300	423
Enfermagem	1.793	1.310
Técnicos/Tecnólogos	1.312	623
Outros	2.721	1.648
Radiologia Diagnóstica (Convencional e Intervencionista)		
Médicos	13.697	3345
Enfermagem	14.713	11.464
Técnicos/Tecnólogos	93	56
Outros	61.040	29.573
Radiologia Diagnóstica Convencional		
Médicos	12.587	3213
Enfermagem	13.437	10.593
Técnicos/Tecnólogos	93	56
Outros	60.429	29.322
Procedimentos Intervencionistas		
Médicos	1.110	132
Enfermagem	1.276	871
Técnicos/Tecnólogos	0	0
Outros	611	251
Radioterapia		
Médicos	624	213
Enfermagem	573	491
Técnicos/Tecnólogos	990	540
Outros	1.670	909
Odontologia		
Profissionais dentistas e técnicos	6.488	4.367
Medicina Veterinária		
Médicos veterinários e técnicos	715	333
Todas as outras práticas no setor de medicina		
Outras áreas específicas	684	290
TOTAL	197.956	100.023

Fonte: Sá, 2019; GDOSE/IRD/CNEN, 2014.

Os dados da Tabela 6 foram extraídos da Gerência de Doses Ocupacionais Externas (GDOSE), um banco de dados pertencente ao Instituto de Radioproteção (IRD) da CNEN que é o responsável pelo monitoramento e controle dos dados de doses radiativas recebidas pelos profissionais que atuam em situações de exposição (incluindo as áreas industriais, atividades militares, ciclo

de produção do combustível nuclear, fontes naturais, entre outros). (GDOSE/IRD/CNEN, 2014).

Nota-se que mais de 50% dos IOE em atuação no Brasil pertencem ao sexo feminino. Deve-se dar especial atenção a esta circunstância considerando que as legislações e normas da CNEN recomendam o afastamento das funções em áreas de acesso controlado (devido ao alto risco de radiação ionizante) evitando possíveis más formações ao feto durante o período da gestação. (SÁ, 2019).

De acordo com a regulamentação da CNEN e do MS, todos os trabalhadores ocupacionalmente expostos à radiação ionizante devem ser monitorados individualmente, com periodicidade mensal, por empresa especializada em Serviços de Monitoração Individual Externa (SMIE), autorizados pelo IRD (CNEN, 1995, d).

Para obter a autorização de operação estas empresas devem enviar ao IRD, mensalmente, dados institucionais das instalações e pessoais dos IOE para os quais prestam serviços. O GDOSE possui dados armazenados em seu cadastro que ultrapassam a 400.000 de IOE registrados no país desde 1987.

4

Saúde e Radioproteção

4.1

Saúde e higiene ocupacional

Esta dissertação adota o conceito de saúde definido pela OMS (Organização Mundial da Saúde):

Saúde é o completo bem-estar físico, mental e social e não apenas a ausência de doenças ou enfermidades. (OMS, 1947).

A Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS) aponta que os fatores de riscos ocupacionais são divididos em químicos, biológicos, ergonômicos, psicossociais, mecânicos, acidentais e físicos. Os fatores físicos incluem diversas formas de energia às quais os profissionais podem estar expostos, como vibração, pressão, ruído, temperatura extrema, radiação não ionizante e radiação ionizante, sendo esta última parte do objeto deste estudo.

Brevigliero *et al.* (2010), afirmam que um profissional ao realizar suas atividades em um ambiente contaminado, pode vir a desenvolver alguma doença que o incapacitará para o trabalho. Quando isso ocorre, ele é retirado de suas atividades para fazer tratamento e somente após a sua recuperação poderá exercer novamente suas funções. Entretanto, se o profissional retornar para atividade inicial no mesmo ambiente onde contraiu a doença é provável que ele fique enfermo novamente, mais rápido e mais intensamente do que anteriormente. Isso ocorre, pois está sendo tratada apenas sua enfermidade (a consequência) e não a causa (o ambiente insalubre).

Assim, o empregador deve tomar as medidas necessárias para fornecer ao empregado um ambiente adequado e seguro a sua saúde.

A *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) define a Higiene Ocupacional sendo:

A ciência e arte do reconhecimento, avaliação e do controle daqueles fatores ou tensões ambientais que surgem “no” ou “do” ambiente de trabalho e que podem causar doenças, prejuízos para a saúde ou ao bem-estar, desconforto significativos entre trabalhadores ou entre cidadãos da comunidade.

De acordo aos autores Brevigliero *et al.* (2010), os agentes que podem causar danos à saúde do trabalhador são de origem física, química e biológica. Neste estudo, o agente causador de danos à saúde do trabalhador é o efeito causado no organismo devido à presença de radiação ionizante.

Segundo a OPAS (2018), uma das principais doenças ocasionadas pela radiação ionizante, ainda que de modo probabilístico, é o câncer. Esta doença pode ocorrer na forma determinística ou estocástica.

O Câncer é o termo geral adotado para um grande número de doenças que podem afetar qualquer parte do organismo. Uma das características definidoras do câncer é a produção rápida de células anormais que crescem além de seus limites usuais e podem invadir partes vizinhas do corpo e se espalhar para outros órgãos. Esse processo é chamado de metástase e é a principal causa do falecimento. Esta doença é decorrente da mutação de células normais para células tumorais que avançam vários estágios e geralmente migram para tumores malignos. Essas mudanças são resultantes da interação entre os fatores genéticos do indivíduo e as seguintes situações provenientes de agentes externos:

- a) Radiação ionizante e ultravioleta;
- b) Substâncias químicas: amianto, tabaco, aflatoxina e arsênio;
- c) Infecções provenientes de vírus, bactérias ou parasitas.

A higiene ocupacional atua no reconhecimento do agente tóxico existente no ambiente do trabalho para que o mesmo seja avaliado e controlado. As medidas de controle se iniciam na fonte geradora dos efeitos nocivos ao trabalhador. Quando as medidas de controle adotadas não forem suficientes, deve-se impedir que os contaminantes se espalhem no ambiente através de medidas de controle no percurso. Quando estas ainda não são suficientes, devem-se adotar as medidas de defesa diretamente no trabalhador (EPI's e EPC's). (OPAS, 2018).

4.2

A radioproteção

A exposição ocupacional à radiação pode ocorrer como resultado de várias atividades, incluindo o trabalho associado às diferentes etapas do processo nuclear para produção energética, no uso de radiação na medicina, na pesquisa científica,

na agricultura e indústria, além de outras ocupações que envolvem exposição devido às fontes naturais (pilotos de aeronaves expostos à radiação cósmica).

De acordo a Okuno *et al.* (1982), logo após a descoberta dos raios X e da radioatividade iniciou-se o uso intenso da radiação ionizante. Os médicos perceberam o potencial desta energia para remover manchas e pintas da pele destruir células do tecido humano. Com o avanço das pesquisas envolvendo a energia nuclear, a comunidade científica passou a se preocupar com os profissionais da medicina e com os demais profissionais expostos à radiação.

Em 1928, foi criado a Comissão Internacional de Proteção Radiológica, ICRP, (*International Commission on Radiological Protection*), na ocasião do 2º Congresso Internacional de Radiologia realizado em Estocolmo. Deste encontro surgiram as primeiras normas e regulamentações rigorosas visando proteger os IOE às radiações ionizantes. Atualmente, a função principal desta comissão é elaborar guias gerais para o uso da radiação e estabelecer limites de exposição para os trabalhadores e público em geral.

A Proteção Radiológica (PR) possui por objetivo resguardar o ser humano e o meio ambiente dos danos nocivos que eventualmente possam ser causados pela radiação ionizante, além de gerenciar e controlar as exposições à radiação a fim de que os efeitos determinísticos sejam prevenidos e o risco a efeitos estocásticos sejam eliminados ou reduzidos (ICRP, 1991).

4.2.1

Os princípios da Proteção Radiológica

O motivo de preocupação devido ao uso da radiação ionizante provém dos efeitos ocasionados quando há interação da radiação com a matéria. Os sistemas biológicos são susceptíveis a anomalias provenientes da radiação ionizante, pois ela pode transmitir sua energia diretamente aos átomos individuais que compõem as moléculas e células.

A radiação pode destruir a célula e ainda causar reproduções de modo equivocado resultando no desenvolvimento de anomalias celulares e doenças entre elas, principalmente, o câncer.

O interesse despertado pela radioatividade trouxe teorias que visavam justificar a aplicação de terapias e a oferta de diversos produtos com

radioatividade adicionada. Produtos contendo *Ra* surgiram prometendo possuir diversos poderes curativos restauradores da saúde. Vendiam-se água e cosméticos contendo radioatividade dizendo possuir propriedades terapêuticas e benéficas para aumento da beleza. (PERUZZO, 2012, b).

Entre os demais produtos comercializados estavam: alimentos radioativos destinados ao tratamento de algumas enfermidades; pasta de dente para combater cáries e queda prematura dos dentes; cigarros radioativos pra prevenir enfermidades pulmonares; alimentos para abrir o apetite e regular o metabolismo do corpo humano entre outros. (PERUZZO, 2012, a).

A norma da CNEN NN 3.01 apresenta a seguinte definição de PR:

O conjunto de medidas que visam proteger o ser humano e seus descendentes contra os possíveis efeitos indesejados causados pela radiação ionizante (CNEN, 2014, a).

Esta norma adota os três princípios básicos:

a) *Princípio da Justificativa*: toda e qualquer exposição à radiação ionizante deve ser justificada de modo que o benefício compense os efeitos nocivos à saúde do indivíduo exposto ou à sociedade. Em outras palavras, o benefício gerado pelo uso da radiação ionizante tem que ser maior que os danos causados por sua aplicação. Neste princípio as situações descritas abaixo são veementemente proibidas de aplicação da radiação:

- i. Práticas que envolvam alimentos, bebidas, cosméticos ou quaisquer outras mercadorias ou produtos destinados a ingestão, inalação, incorporação cutânea ou aplicação do ser humano;
- ii. Práticas que envolvam o uso frívolo da radiação ou substâncias radioativas em mercadorias ou produtos, incluído brinquedos, objetos de joalheria ou adornos pessoais;
- iii. Exposições de pessoas para fins de demonstração ou treinamento. (CNEN, 2014, a).

b) *Princípio da Otimização*: Visa preservar a segurança e a saúde dos indivíduos expostos à radiação ionizante em ambientes que utilizam a radiação, incluindo os pacientes, profissionais e o meio ambiente em geral. Assim, a PR deve ser otimizada de forma que o número de pessoas expostas e a

probabilidade de exposições que resultem em qualquer dose de radiação ao IOE mantenham-se tão baixos quanto possa ser exequível. Foi denominado como princípio *ALARA* (acrônimo para o termo, em inglês *As Low as Reasonably Achievable*) ou, em língua portuguesa, “tão baixo quanto razoavelmente exequível”.

c) *Princípio da Limitação da dose individual*: a dose individual recebida por IOE e indivíduos do público em geral não deve exceder os limites de dose recomendados (excluindo-se as exposições médicas necessárias quanto ao tratamento dos pacientes). Os limites são estabelecidos em recomendações nacionais, norma da CNEN, que se baseiam em normas internacionais. (CNEN, 2014, a).

De modo geral, os profissionais devem minimizar a probabilidade de ocorrência de acidentes e programar as ações estratégicas para minimizar exposições acidentais. Todo o esforço deve ser direcionado no sentido de estabelecer medidas rígidas para a prevenção de acidentes em um ambiente de trabalho onde há emissão de radiação ionizante. O contínuo controle da manutenção dos equipamentos emissores de radiação, os comandos eletrônicos em perfeito funcionamento, o adequado uso dos EPI's e EPC's, os procedimentos e rotinas de trabalho bem definidas e detalhadas além de treinamento da equipe envolvida nas atividades devem ser priorizadas em detrimento da precaução para evitar acidentes.

4.3

Efeitos da radiação no ser humano

4.3.1

Efeitos biológicos da radiação ionizante

As consequências da interação da radiação com o organismo humano podem ser descritas em diversos segmentos da ciência. Na perspectiva da biologia, de acordo com as características da exposição à radiação com o corpo humano, pode-se notar desde lesões celulares e transformações moleculares isoladas, até o comprometimento generalizado de tecidos e órgãos vitais. (XAVIER *et al.*, 2014).

Oliveira *et al.* (2016) também descrevem que, para a ocorrência de lesões celulares, são necessárias três fases distintas, denominadas de fases física, química e biológica. A fase física ocorre em um período de 10 a 13 segundos após o primeiro contato radioativo, e está compreendida entre o momento que a energia da radiação se transfere à matéria até a geração de novos produtos oriundos desta interação. A fase química representa a reação dos subprodutos da primeira fase com as moléculas vizinhas, e ocorre em um período de 6 a 10 segundos. E a fase biológica, que possui origem nas demais, classifica-se como o período que os resultados dos danos são proliferados, podendo durar de segundos até diversos anos.

As radiações ionizantes agem sobre o DNA, levando a célula à morte ou à perda de sua capacidade reprodutiva. Quanto maior o conteúdo de DNA em uma população celular (atividade mitótica) maior será sua sensibilidade à radiação.

Alguns órgãos do corpo humano possuem maior sensibilidade em relação a radiação (gônadas, medula óssea, cristalino) e devem ser cuidadosamente protegidos. A rádio sensibilidade é um fenômeno complexo que envolve a participação de múltiplos fatores, como morfologia tumoral, histogênese, vascularização, aporte de oxigênio, podendo sofrer a interferência de agentes químicos, físicos e biológicos. (XAVIER *et al.*, 2014).

De acordo a Xavier *et al.* (2014), os efeitos da fase biológica podem ser diversos, e estão relacionados às características gerais da exposição radiativa e do organismo, conforme descrevem:

Especificidade: os efeitos biológicos das radiações podem ser provocados por outros agentes físicos, químicos ou biológicos.

Reversibilidade: a célula possui mecanismos de reparo, podendo, em caso de danos parciais, ressintetizar ou restaurar uma estrutura danificada.

Transmissividade: a maior parte das alterações causadas pelas radiações ionizantes que afetam células e organismos não se transmite a outras células ou outros organismos, exceção feita à irradiação das gônadas, que pode resultar em alterações transmissíveis aos descendentes.

Radio sensibilidade: nem todas as células, tecidos órgãos ou organismos respondem igualmente à mesma dose de radiação. A rádio sensibilidade das células é diretamente proporcional a sua capacidade de reprodução e inversamente proporcional ao seu grau de especialização.

Fatores de Influência: pessoas expostas à mesma dose de radiação não apresentam, necessariamente, os mesmos danos e o mesmo tempo de resposta. Por exemplo, o indivíduo é mais vulnerável à radiação quando criança (processo de multiplicação celular mais significativo) ou quando idoso (processo de reparo celular pouco eficiente).

Tempo de Latência: Há um período de tempo que decorre entre o momento da irradiação e o surgimento do dano visível ou detectável.

Limiar: Alguns efeitos somente se manifestam quando a dose de radiação seja superior a uma dose mínima. (XAVIER *et al.* (2014).

Os autores Oliveira *et al.* (2016) acrescentam que o poder dos efeitos biológicos também está vinculado à qualidade das radiações, que basicamente é a capacidade dos elementos do organismo humano em absorver as energias e variam com o potencial energético das partículas e sua velocidade de penetração. Partículas radioativas mais carregadas proporcionam ionizações de maior intensidade nas células, aumentando os danos isolados ou proliferados, como no caso dos raios α , que são mais energéticos do que os raios β . Como complemento, as partículas de menor velocidade representam maior impacto danoso, visto que quanto mais lenta a penetração, maior é o tempo em contato com a matéria, possibilitando mais ionizações. Portanto, partículas caracterizadas como de alta velocidade, são consideradas menos nocivas ao organismo biológico, porém, à medida que colidem com a matéria, perdem velocidade e aumentam os seus efeitos.

A relação entre a dose absorvida e a taxa de absorção também apresenta um papel determinante nos efeitos da radioatividade no organismo. Quando comparadas duas dosagens iguais, porém, com absorções em períodos diferentes, ocorre a alteração do tipo de impacto biológico. Por exemplo, quanto mais fracionada e em tempo maior uma mesma dose for recebida, menores serão os efeitos devido à capacidade de recuperação celular humana. Do contrário, se a dose radioativa for absorvida de forma contínua e em curto período de tempo, os danos serão intensificados, pois não há tempo suficiente entre os recebimentos das dosagens para proporcionar a recuperação celular natural. (XAVIER *et al.*, 2014).

Com base nas características apresentadas, os efeitos biológicos podem ser classificados em determinísticos (efeitos em curto prazo) ou estocásticos (efeitos em longo prazo ou tardios), sendo os estocásticos subdivididos em genéticos

(origem indireta e hereditária) ou somáticos (acúmulo direto de dosagens radioativas). (XAVIER *et al.*, 2014).

4.3.1.1

Efeitos biológicos determinísticos

Para Oliveira *et al.* (2016), os efeitos classificados como determinísticos ocorrem acima do limiar da dose e é um resultado direto da exposição do corpo humano a altas doses de energia radioativa em um curto período de tempo. Esses efeitos são definidos pela exposição a uma dose mínima para colapsar e desenvolver a doença. Por definição, todos os efeitos que ocorrem dentro de 60 dias a partir da data do contato inicial são considerados determinísticos. O tempo em que os sintomas ocorrem pode variar e depende de fatores como a resistência do organismo, o tipo de tecido do órgão doente, a quantidade de dose absorvida pelo local e o tempo de exposição total.

Conforme citado por Xavier *et al.* (2014), esses efeitos incluem inflamação e úlceras na pele, náusea, vômito, anorexia, diarreia, perda de cabelo, anemia, sangramento e infecções. Isso ocorre devido à morte local das células no corpo, cuja velocidade e número são maiores do que a capacidade de substituição e renovação celular do corpo humano. Os tecidos mais sensíveis a essas mortes são aqueles que requerem regeneração celular contínua para funcionar adequadamente, como medula óssea, pele, parede gastrointestinal e tecido embrionário.

A Tabela 7 apresenta alguns efeitos determinísticos e suas respectivas doses limiares. Os sintomas apresentados ocorrem apenas a partir da absorção de suas respectivas dosagens pelo organismo, em período curto de tempo, não ocorrendo qualquer manifestação de patologias com doses inferiores às de seus limiares.

Tabela 7: Efeitos e limiares da rádio exposição de corpo inteiro.

Forma	Dose Absorvida	Sintomatologia
Reações Gerais Leves	< 1 Gy	Ausência de sintomas na maioria dos adultos
Infra clínica	1 a 2 Gy	Astenia, náuseas, vômitos

Hematopoiética leve	2 a 4 Gy	Função medular atingida: linfopenia, leucopenia, trombopenia, anemia. Recuperação em 6 meses
Hematopoiética grave	4 a 6 Gy	Função medular gravemente atingida
Gaстрintestinal	6 a 7 Gy	Diarreia, vômitos. Morte em 5 a 6 dias
Pulmonar	8 a 9 Gy	Insuficiência respiratória, coma. Morte entre 14 a 36 horas
Cerebral	> 10 Gy	Colapso do sistema nervoso central. Morte em poucas horas

Fonte: Xavier et al. (2014).

Oliveira *et al.* (2016) acrescentam que se uma dose de 1.000 Gy ou superior for recebida pelo organismo, haverá completa falha do sistema biológico e à morte em minutos ou horas.

4.3.1.2

Efeitos biológicos estocásticos

De acordo a Xavier *et al* (2014) os efeitos classificados como estocásticos são aqueles causados direta ou indiretamente pela exposição humana em longo prazo a doses baixas e médias de energia radioativa. As consequências diretas são chamadas somáticas e são causadas pela exposição do organismo à radiação. As consequências indiretas, denominadas de genéticas, ocorrem devido à transferência de DNA, através da herança genética de tecido germinativo danificado, fornecida por outros organismos expostos.

Os efeitos em longo prazo geralmente ocorrem em IOE às radiações e não há limiar de exposição bem claro. Em outras palavras, não exigem a dose mais baixa para o organismo entrar em colapso e desenvolver alguma doença. Assim, qualquer pessoa que tenha recebido a radiação pode vir a sofrer algum efeito somático no longo prazo. (XAVIER *et al.*, 2014).

Considerando que os indivíduos experimentam vários fatores externos ao longo da vida é extremamente difícil para a ciência estudar efeitos aleatórios, e é impossível explicar cientificamente se a patologia é causada pela radiação em

doses baixas. Além disso, o período de latência também dificulta o processo de análise, pois pode levar décadas para determinar o desempenho de certos sintomas. No entanto, apesar das dificuldades científicas na definição dos sintomas, alguns efeitos aleatórios somáticos são: maior incidência de carcinogênese, vida útil média reduzida (envelhecimento), anormalidades embrionárias (substâncias sensíveis e alta reprodução celular) e indução de catarata. (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

A carcinogênese é considerada a manifestação menos desejável de efeitos estocásticos, pois pode levar à morte de indivíduos afetados. Embora a pesquisa científica sobre esse assunto não seja suficientemente precisa, a radiação ainda é considerada como um fator forte para o surgimento de câncer. O limiar radioativo é inexistente devido à imprecisão das informações, porém, acredita-se que alguns tecidos biológicos (os mais resistentes) podem ter limiares superiores ao do seu tempo de vida, e, portanto, nunca sofreriam da carcinogênese. (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Alguns eventos como os acidentes radioativos de Goiânia, Chernobyl e as bombas de Hiroshima e Nagasaki foram utilizados na tentativa de determinar o limiar mínimo para o aparecimento de câncer na população atingida pelas catástrofes. Nos casos de Hiroshima e Nagasaki, foi constatado um aumento nos casos de leucemias mieloides e linfocíticas que apareceram cinco anos após a explosão e que mostram os efeitos tardios das irradiações. O pico de aparecimento dessa doença, porém, deram-se 14 anos mais tarde. Constatou-se também o aparecimento de câncer de mama na população feminina jovem (média de 28 anos de idade), com um tempo de latência de 15 anos. O pulmão e a tireoide também foi atingido pela radiação, mostrando-se radio sensíveis. (OLIVEIRA *et al.*, 2016, p. 318).

O envelhecimento causado por baixas doses de radiação provém de experimentos de laboratório realizados em animais, nos quais foi demonstrado que os experimentos reduzem a vida útil de organismos expostos. Algumas das hipóteses propostas são: possível dano celular, alterações no DNA, aceleração de processos fisiológicos e ativação incorreta dos mecanismos de defesa natural do corpo para o reparo celular. (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

A indução de catarata é causada principalmente por partículas de nêutrons, que podem causar morte celular no olho humano devido à radiação. Os sintomas

são demonstrados no decorrer de diversos anos, que também dificulta a análise da influência direta do fator radiação. Estima-se que uma dose de 13 a 15 Sv já seja suficiente para a manifestação da patologia, distribuído em um período de 50 anos. (OKUNO *et al.*, 1982).

A anormalidade no embrião ocorre devido à fragilidade do processo de multiplicação celular no qual o material biológico se encontra. Sua hipótese veio de experimentos de laboratório com ratos, que mostraram evidências de anormalidades e morte fetal quando expostos a pequenas doses de raios X (entre 0,25 e 1 Sv). (OKUNO *et al.*, 1982). O efeito genético consiste basicamente em mutações no DNA presentes nas células germinativas (óvulos e espermatozoides) que produzirão indivíduos futuros. Esses efeitos são causados pela interação direta da radiação com essas células, o que altera as informações genéticas responsáveis pela codificação de estruturas e enzimas moleculares. O DNA afetado é reproduzido com erros milhões de vezes, proporcionando mutações nos novos tecidos gerados, causando deformidades no corpo e até mortes fetais, por rejeição biológica natural. O efeito genético é a única consequência causada pela radiação, que se transmite através das gerações mesmo com uma probabilidade de aproximadamente 1,3%. (OKUNO *et al.*, 1982).

De acordo à Portaria nº 1339/99, (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1999) as doenças apresentadas na Tabela 8 estão diretamente relacionadas à incidência das radiações ionizantes.

Tabela 8: Doenças relacionadas à radiação ionizante.

Fator de risco	Doenças Relacionadas
Radiação ionizante	Neoplasia maligna da cavidade nasal e dos seios paranasais Neoplasia maligna dos brônquios e do pulmão Neoplasia maligna dos ossos e cartilagens articulares dos membros (Inclui “Sarcoma Ósseo”) Outras neoplasias malignas da pele Leucemias Síndromes Mielodisplásicas Anemia aplástica devida a outros agentes externos Hipoplasia medular Púrpura e outras manifestações hemorrágicas Agranulocitose (Neutropenia tóxica)

	Outros transtornos especificados dos glóbulos brancos: Leucocitose, Reação Leucemóide Polineuropatia induzida pela radiação Blefarite Conjuntivite Queratite e Queratoconjuntivite Catarata Pneumonite por radiação Gastroenterite e Colites tóxicas Radiodermatite: Aguda; Crônica; não especificada; Afecções da pele e do tecido conjuntivos relacionados com a radiação, não especificadas Osteonecrose: Devida a Drogas e Osteonecroses Infertilidade Masculina Efeitos Agudos (não especificados) da Radiação
--	---

Fonte: (Xavier et al. (2014)).

Embora o risco de câncer aumente proporcionalmente com o aumento da dose, qualquer valor de dose abaixo de 100 m.Sv recebida por uma pessoa não apresentará um aumento significativo no risco de aparecimento de câncer. (OKUNO *et al.*, 1982).

A Tabela 9 apresenta níveis, limites e referências de dose de radiação para uma comparação mais simplificada.

Tabela 9: Níveis e referências de dose de radiação

Parâmetro	Valor (m.Sv)	Observações
Limite anual para público em situação operacional normal	1	Dose acima da radiação natural. Não inclui as aplicações médicas. Ref.: Norma CNEN NN 3.01
Aplicações médicas (excluindo radioterapia)	,03 a 2,0	Média anual Ref.: UNSCEAR 2008
Radiação natural	2,4	Média anual. Ref.: UNSCEAR 2008. Algumas regiões apresentam níveis até 5 vezes maiores, (Guarapari, ES)
Limite anual para indivíduo ocupacionalmente exposto (trabalhador)	20	Média em 5 anos. Não pode exceder 50 m.Sv em um único ano. Ref.: Norma CNENNN3.01
Nível de ação para evacuação de	50	Dose a ser evitada Monitoração no

população em situações de emergência		local: taxa: 1Sv/h. Ref.: Norma CNEN NN 3.01 PR-006
Limite de dose em situações de emergência para executar ações para prevenir o desenvolvimento de situações catastróficas	100	Com exceção das ações para salvar vidas. Ref.: Norma CNEN NN 3.01
Referência para aparecimento de efeitos observáveis	1000	Os efeitos observados podem ser astenia, náuseas, vômitos
Dose de corpo inteiro mais alta recebida por uma das vítimas do acidente radiológico em Goiânia, 1987	8000	A vítima faleceu em pouco tempo depois

Fonte: Internet: Site da CNEN, 2020.

4.4

Efeitos da Radiação ionizante no meio ambiente

4.4.1

Efeitos da radiação ionizante nos IOE

Devido às características das partículas radioativas e da exposição ocupacional experimentado pelos profissionais no serviço de radioterapia são classificados como efeitos estocásticos somáticos. A radiação ionizante proveniente dos equipamentos utilizados em radioterapia fornece baixas doses radioativas em um longo período de tempo, portanto os efeitos determinísticos são descartados para os profissionais envolvidos nestas atividades. (FEDERICO, 2011).

4.5

Segurança e Proteção radiológica

4.5.1

Conceito de Proteção Radiológica

A Proteção Radiológica é o conjunto de medidas que visam proteger o homem e o meio ambiente de possíveis efeitos indesejáveis causados pelas radiações ionizantes.

Para a composição do conjunto de medidas da Proteção Radiológica é necessário analisar os diversos tipos de fontes de radiação, as diferentes radiações e os modos de interação com a matéria viva ou inerte, as possíveis consequências e sequelas à saúde e os riscos associados.

O estabelecimento de normas regulatórias, os limites permissíveis e um plano de Proteção Radiológica para as instalações que realizam práticas com radiação ionizante, têm por objetivo garantir o seu uso correto e seguro. Os procedimentos para situações de emergência também devem ser claramente definidos para o caso do desvio da normalidade de funcionamento de uma instalação ou da prática radiológica.

Para avaliar de modo quantitativo e qualitativo tais efeitos são necessários definir as grandezas radiológicas, suas unidades, os instrumentos de medição e detalhar os diversos procedimentos do uso das radiações ionizantes. A Comissão Internacional de Unidades e Medições de Radiação (ICRU, em inglês *International Commission on Radiation Units and Measurement*) é a organização responsável pelas grandezas e unidades utilizadas na radiação, seu processo de aperfeiçoamento e atualização. Os conceitos, procedimentos, grandezas e filosofia de trabalho em proteção radiológica são continuamente detalhadas e atualizadas nas publicações da ICRP.

No Brasil coube à CNEN, através da Norma CNEN NN 3.01, estabelecer os requisitos básicos de proteção radiológica das pessoas em relação à exposição à radiação ionizante. O campo de atuação desta Norma é amplo e envolve as práticas, que incluem:

- a. O manuseio, a produção, a posse e a utilização de fontes, bem como o transporte, o armazenamento e a deposição de materiais

radioativos, abrangendo todas as atividades relacionadas que envolvam ou possam envolver exposição à radiação;

- b. Aquelas que envolvam exposição a fontes naturais cujo controle seja considerado necessário pela CNEN.

4.5.2

Proteção Radiológica do Ecossistema

Em termos de PR, a atenção ao meio ambiente está vinculada e direcionada às pessoas. Ao avaliar o nível de radioatividade natural ou a proliferação de materiais radioativos causado pelas instalações no ciclo de combustível nuclear, especialmente no campo da mineração e processamento de material radioativo, a preocupação sempre existiu com o nível de exposição humana a altas doses de radiação e de riscos adicionais a saúde.

No Brasil os procedimentos, os critérios científicos e metodológicos estão definidos na Posição Regulatória 3.01/008:2011 da CNEN que trata sobre o Programa de Monitoração Radiológica Ambiental.

A ICRP, na Publicação nº 103 de 2007, definiu claramente como objetivos para a Proteção Radiológica do Ecossistema Mundial a necessidade global e esforço conjuntos das nações para:

- a. Manter a diversidade biológica;
- b. Assegurar a conservação das espécies; e
- c. Proteger a saúde e o habitat das comunidades e ecossistemas.
(ICRP, 2007).

4.5.3

Situações de emergência

Durante a operação de equipamentos ou procedimentos técnicos que envolvam radiação pode ocorrer sequências de eventos indesejáveis ou perigosos. Nestas situações, a resolução de casos de emergência deve ser eficiente e rápida, a fim de evitar danos crescentes à medida que o tempo passa. O atendimento a estas situações varia com a gravidade do evento e com o cenário envolvido. A maioria delas é resolvida pelos responsáveis pela operação ou pelo próprio Serviço de

Proteção Radiológica local. Numa situação mais ampla e complexa, exige-se a intervenção do Serviço de Atendimento a Situações de Emergência do país.

Num evento envolvendo uma situação de emergência, preocupação inicial é a prevenção ou redução da dose nos IOE ou nos membros da população diretamente atingidos. Em casos assim, os objetivos práticos recomendados pela ICRP são:

- i. Retomar o controle da situação;
- ii. Prevenir ou mitigar as consequências da cena;
- iii. Prevenir a ocorrência de efeitos determinísticos nos trabalhadores e membros do público;
- iv. Prestar os primeiros socorros e gerenciar o tratamento das lesões da radiação;
- v. Reduzir, a ocorrência de efeitos estocásticos na população;
- vi. Prevenir, no que for possível, a ocorrência de efeitos não radiológicos adversos sobre indivíduos e entre a população;
- vii. Proteger, no que for possível, o ambiente e os bens; e
- viii. Considerar a necessidade de retomada das atividades sociais e econômicas.

As Medidas de Proteção e Critérios de Intervenção em Situações de Emergência foram definidas e estabelecidas na Posição Regulatória 3.01/006:2011 da CNEN, onde são descritas as Ações Protetoras Imediatas e Níveis Genéricos de Intervenção entre outras questões vinculadas a acidentes radioativos.

4.5.4

Os cuidados importantes para Proteção Radiológica

4.5.4.1

Tempo de permanência de exposição à radiação

As radiações externas podem ser controladas operando-se com três parâmetros diretamente inter-relacionados: *tempo, distância e blindagem*. A dose acumulada por uma pessoa que trabalha numa área exposta a uma determinada

taxa de dose de radiação é diretamente proporcional ao tempo em que ela permanece na área. Assim, a dose pode ser controlada pela limitação desse tempo:

$$Dose = taxa \cdot tempo$$

Além da limitação do tempo de permanência em áreas de trabalho nas quais existem materiais radioativos ou fontes de radiação, conforme o tipo de tarefa a ser realizada, deve ser empregado procedimentos de redução da dose diretamente no IOE. Para essa redução, os recursos utilizados são: o aumento da distância ou a introdução de material de blindagem entre o homem e a fonte de radiação. Ainda assim, deve-se sempre considerar o menor tempo possível de exposição, pois menores serão os efeitos causados pela radiação. O recurso mais eficaz de redução do tempo de execução de uma tarefa é o treinamento do operador e a otimização de sua habilidade. (PAIVA, 2014).

4.5.4.2

A distância da fonte da radiação

Segundo o autor Paiva, (2014), algumas grandezas físicas variam com o inverso do quadrado da distância à sua fonte.

Para uma fonte emitindo radiações em todas as direções, o fluxo, que é proporcional à taxa de dose numa determinada distância “r” da fonte, é inversamente proporcional ao quadrado dessa distância. Essa relação somente é verdadeira para uma fonte puntiforme, um detector puntiforme e absorção desprezível entre a fonte e o detector. Isto porque ela se baseia no ângulo sólido definido pela fonte (puntiforme) e a superfície de uma calota esférica definida pela distância r, entre fonte e objeto alvo, durante o tempo “t” de exposição. A lei do inverso do quadrado é dada por:

$$\frac{D1}{D2} = \left(\frac{r2}{r1}\right)^2$$

onde “ D_1 ” é a taxa de dose na distância “ r_1 ” da fonte e “ D_2 ” é a taxa de dose na distância “ r_2 ” da fonte. Neste caso quanto mais se aumenta a distância entre a fonte e o detector, maior é a redução da taxa de dose a 1/4 de seu valor inicial.

O modo mais eficaz de evitar exposição às radiações ionizantes é sempre permanecer à maior distância possível da fonte emissora (PAIVA, 2014).

4.5.4.3

Blindagem

Em situações em que se opera com fontes intensas ou níveis elevados de radiação ionizante, é imprescindível introduzir o fator de segurança que é a blindagem de contenção (BRASIL, INCA, j).

A preocupação recorrente é calcular as espessuras das blindagens das salas que abrigam máquinas e aparelhos radioterapia de modo que os níveis de radiação em suas vizinhanças fiquem dentro dos valores permitidos. A escolha do material para blindagem depende do tipo de radiação, pois esta pode ser constituída de partículas sem massa (raios X e γ) ou com massa (prótons, elétrons, nêutrons, pósitrons). Depende ainda da atividade da fonte e da taxa de dose que é aceitável fora do material de blindagem.

Diversos materiais podem ser utilizados em blindagem contanto que sejam empregados na espessura suficiente para atenuar a intensidade da radiação aos limites autorizados.

As características principais dos materiais a serem consideradas são:

- Área para a instalação;
- Espessura e peso da barreira;
- Uso múltiplo (blindagem e estrutura);
- Blindagem de vários tipos de radiação;
- Uniformidade e homogeneidade;
- Estabilidade;
- Custo da construção;
- Acabamento, limpeza e conservação.

O concreto armado tem grandes vantagens ao ser utilizado como blindagens nos ambientes onde há radiação ionizante devido ao seu baixo custo e a facilidade de construção. Embora as blindagens em concreto sejam bastante espessas é um excelente material para aplicações quando não limitação de espaço (BRASIL, INCA, j). A Figura 16 apresenta um croqui em 3D de uma sala de tratamento (denominada casamata ou *bunker* devido suas características físicas), onde são instalados os equipamentos que emitem a radiação ionizante.

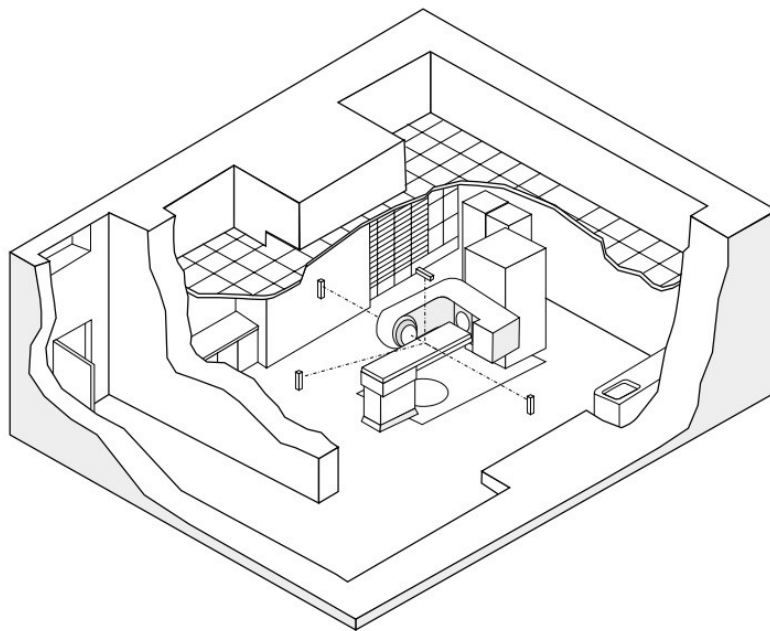


Figura16: Croqui em 3D - casamata com blindagem em concreto.

Fonte: Brasil (j), 2000.

As chapas de aço de baixo teor de carbono apresentam características favoráveis na aplicação de blindagens e devido a sua resistência são usadas como componente estrutural. As placas de aço também podem ser aplicadas de modo complementar ao concreto armado quando o espaço é limitado e ainda como aplicação de revestimento para as portas e batentes que dão acesso às salas onde estão os equipamentos. (BRASIL, INCA, j).

A Tabela 10 apresenta as propriedades físicas dos principais materiais utilizados em blindagem.

Tabela 10: Propriedades físicas dos materiais utilizados em blindagem.

Material	Densidade (g.cm⁻³)	Nº Atômico	Custo relativo
Concreto comum	2,3 – 2,4	11	1,0
Concreto denso	3,0 – 4,8	26	5,8
Aço de baixo teor Carbono	7,87	26	3,0
Chumbo	11,35	82	22,0
Terra (seca- compactada)	1,5	-	Baixo

Fonte: Brasil (j), 2000.

O dimensionamento e execução da blindagem para instalação de aparelhos que possui emissão de radiação ionizante devem levar em consideração a localização dos geradores de radiação, as direções possíveis de incidência do feixe, o tempo de ocupação da máquina ou fonte, a carga de trabalho, os locais e áreas circunvizinhas, a planta da instalação. Além do cálculo da barreira primária, deve-se calcular a barreira secundária devido ao espalhamento da radiação nas paredes, equipamentos e no ar de forma geral.

Segundo o Ministério da Saúde, a implantação de um Serviço de Radioterapia é um processo longo e multidisciplinar que envolve custos e profissionais de várias áreas. A fase inicial do processo é definir os tipos de equipamentos que serão utilizados. A próxima etapa consiste na elaboração do Projeto de Blindagem onde são definidos os materiais da blindagem, as espessuras e geometrias das paredes (labirintos) que aperfeiçoam a redução do nível de radiação estabelecida por normas específicas de proteção radiológica. (Brasil, 2000, (j)).

A Figura 17 apresenta um croqui de sala contendo blindagem em concreto com grandes espessuras de paredes. O Projeto de Blindagem deve fazer parte do Relatório Preliminar de Análise de Segurança (RPAS), documento apresentado à CNEN para que o serviço/unidade hospitalar obtenha os registros e autorizações necessárias ao seu funcionamento. Aprovado este relatório, a CNEN emite uma autorização para construção e o serviço pode iniciar as obras físicas para instalar os equipamentos. Depois da construção, da instalação dos equipamentos e dos testes de aceitação destes, deve-se apresentar o Relatório Final de Análise de

Segurança (RFAS) e o Plano de Radioproteção que, após aprovado pela CNEN, permitirá os tratamentos dos pacientes.

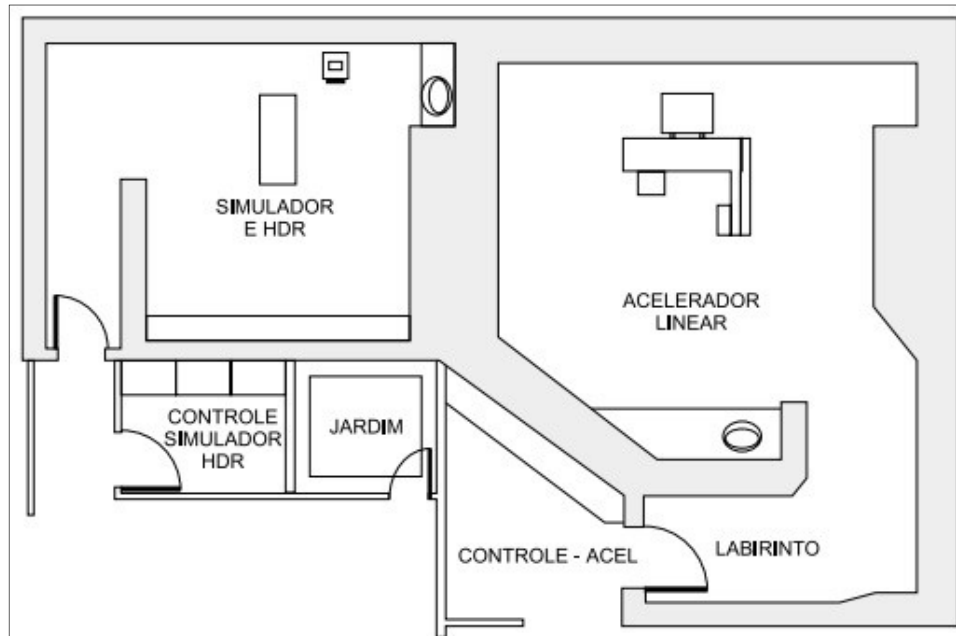


Figura17: Croqui de uma sala com blindagem em concreto.

Fonte: Brasil (j) 2000.

O cálculo e construção de uma blindagem para uma instalação devem levar em consideração a localização dos geradores de radiação, as direções possíveis de incidência do feixe, o tempo de ocupação da máquina ou fonte, a carga de trabalho, os locais e áreas circunvizinhas, a planta da instalação. Além do cálculo da barreira primária, deve-se calcular a barreira secundária devido ao espalhamento da radiação nas paredes, equipamentos e no ar. Os profissionais que atuam com fontes radioativas ou geradores de radiação ionizante nos serviços de radioterapia em unidades hospitalares devem dispor de procedimentos técnicos bem elaborados de modo que o objetivo da tarefa seja alcançado e sua segurança esteja garantida contra exposições desnecessárias ou acidentais.

4.5.5

O Plano de Proteção Radiológica (PPR)

Segundo a NR 32 a instalação que opera com material radioativo deve elaborar um documento citando as diretrizes de segurança radiológica adotada. Usualmente o documento é denominado de PPR (Plano de Proteção Radiológica) e deve conter:

- Prazo de vigência;
- Identificação do profissional responsável e seu substituto e os membros efetivos da equipe de trabalho do serviço;
- Fazer parte do PPRA do estabelecimento;
- Ser considerado na elaboração e implantação do PCMSO;
- Ser apresentado na CIPA, quando existente na empresa, sendo sua cópia anexada às atas desta comissão.

O PPR deve incluir a descrição detalhada das atribuições do titular da instalação, do supervisor de proteção radiológica e dos IOE que pertencem à instalação. A norma NR 32 também orienta quanto às atividades que devem ser desenvolvidas pelo serviço de proteção radiológica incluindo o rigoroso Controle dos IOE, o Controle das Áreas, o Controle das Fontes de Radiação, o Controle dos Equipamentos e ainda manter atualizados todos os registros destes controles. (BRASIL, NR 32, g).

O Controle dos IOE é efetuado através da Monitoração Individual dos profissionais e a consequente avaliação das doses recebidas por estes durante todo seu período de trabalho. O Serviço de Proteção Radiológica deve acompanhar a supervisão médica dos IOE da instalação através de monitoramento dos resultados de seus exames de sangue.

A frequência dos exames médicos dos profissionais ocupacionalmente expostos inclui:

- Exame pré-ocupacional: confere através dos exames médicos se o trabalhador se encontra em condições normais de saúde para exercer suas atividades. Inclui a análise de histórico médico e radiológico sobre antigas exposições.

- Exame periódico: varia de acordo com a natureza da função e com a dose recebida pelo trabalhador. Exame realizado a cada seis meses.
- Exame especial: Ocorre para os trabalhadores que tenham recebido doses superiores ao limite estabelecido na norma ou ainda, quando médico ou órgão de controle (CNEN) avalie necessário;
- Exame pós-ocupacional: imediatamente ao término das atividades/ocupação na função.

O Controle de Áreas é feito pela avaliação e classificação periódica das áreas da instalação que deve manter um controle de acesso e sinalização adequado dessas áreas e a também um programa de monitoração das mesmas.

A Norma CNEN NN 3.01 define as seguintes características para as áreas nos locais onde há exposição à radiação ionizante:

Área controlada: área sujeita a regras especiais de proteção e segurança, com a finalidade de controlar as exposições normais, prevenir a disseminação de contaminação radioativa e prevenir ou limitar a amplitude das exposições potenciais.

Área livre: qualquer área que não seja classificada como área controlada ou área supervisionada.

Área supervisionada: área para a qual as condições de exposição ocupacional são mantidas sob supervisão, mesmo que medidas de proteção e segurança específicas não sejam normalmente necessárias. (CNEN, 2014, a).

A Figura 18 mostra a sinalização restritiva ao depósito de resíduos radioativos, uma área de acesso controlado do HC 1, INCA.

O controle das fontes de radiação da instalação deve ser feito por meio de um programa de controle físico com a consequente verificação da integridade das fontes quanto a possíveis vazamentos, desvios, furtos, etc. Os equipamentos geradores de radiação devem passar por programas de inspeção periódica enquanto os instrumentos utilizados para a proteção radiológica devem ser calibrados com a periodicidade estipulada em norma específica.

Os registros de usos, ocorrências e das doses individuais dos trabalhadores da Instalação, devem permanecer atualizados no Serviço de Proteção Radiológica.



Figura 18: Sinalização - porta de acesso à área controlada.

Fonte: Autor.

5.

O Arcabouço Jurídico na Proteção Radiológica

A proteção contra radiações ionizantes no ambiente de trabalho é fundamental para a garantia da saúde e segurança dos trabalhadores que atuam nestas condições.

A Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), criada em 1957 através da ONU, orienta os princípios gerais que regem o uso da energia atômica e suas aplicações técnicas a nível mundial.

No Brasil coube à CNEN, vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTIC), responsabilizar-se pelo controle e uso de materiais radioativos. Isto ocorre através das normas de operação, orientações e autorizações aos centros de radioterapia e laboratórios de medicina nuclear, fábricas e outros locais onde fontes de radiação são utilizadas. Além desta, outros órgãos governamentais, como a ANVISA, Fundacentro, ME e MS se envolvem determinando e supervisionando ações específicas sobre o assunto inclusive incluindo regulamentação do exercício das atividades realizadas.

Para o autor Souto (2019) em uma instituição médica onde há utilização da radiação ionizante, o indivíduo exposto à radiação pode ser o profissional (IOE), o paciente ou o acompanhante do paciente. Nestes casos é essencial distinguir a quem cabe a PR dentre os trabalhadores e pacientes. Em termos de leis e regulamentos, o primeiro cabe aos profissionais especializados em segurança do trabalho e o segundo cabe aos profissionais de saúde. Assim, a PR pode ser dividida em duas partes principais:

- Proteção dos pacientes;
- Proteção dos trabalhadores e do meio ambiente.

O conceito de proteção para o ser humano, enquanto paciente, é muito amplo e inclui os diversos tipos de exames, tratamentos médicos e odontológicos nos quais incluem a aplicação combinada da radiação (radiodiagnóstico, radioterapia e medicina nuclear). Em contrapartida, a proteção do ser humano e meio ambiente envolve a engenharia de segurança do trabalho e a higiene ocupacional, pois estas se preocupam diretamente com o ambiente de trabalho e o

seu entorno incluindo a monitoração da exposição do trabalhador aos riscos ocupacionais causados pela radiação. (SOUTO, 2019).

A fim de garantir a proteção do trabalhador em seu ambiente de trabalho foi necessária a elaboração de leis, regulamentos e práticas diversas orientadas à segurança e saúde. A legislação trabalhista, especialmente a Portaria nº 3.214/1978 promove e descreve as Normas Regulatórias (NR's) relacionadas à segurança e medicina do trabalho descrito em 34 normas que regulamentam os exames médicos, aos uniformes, os equipamentos de proteção, as condições de ambiente do trabalho e ainda define os limites de exposição que justificam o recebimento de adicional de insalubridade.

Em relação à aplicação das radiações ionizantes em áreas da saúde encontram-se as seguintes orientações normativas:

1. NR 06: trata da obrigatoriedade quanto ao equipamento de proteção individual (EPI) que tem por finalidade proteger qualquer profissional em qualquer área no exercício de sua função. A norma estabelece que o EPI deva possuir o certificado de aprovação (CA), pois assim garante que o equipamento estará dentro dos requisitos exigidos na legislação quanto a sua qualidade. As seguintes normas da ABNT/NBR IEC 61331-3/2004 trata das Vestimentas de Proteção Radiológicas (VPRs) e dos Dispositivos de Proteção Radiológicas (DPRs). Estas normas dispõem que toda VPR e DPR devem ser fabricadas conforme exigência da legislação vigente, contendo as blindagens mínimas estabelecidas, tamanhos padronizados; superfície composta de material que facilite a higienização. São exemplos destes EPI's: os aventais plumbíferos, aventais protetores de gônadas, protetores de escroto, blindagem de ovário e luvas plumbíferos. Outro tipo de proteção importante é a de tireoide, pois este órgão é rádios sensível quando há exposição contínua à radiação. (BRASIL, NR 06, b).
2. NR 07: Estabelece a obrigatoriedade de elaboração e implantação, pelos empregadores e das instituições que admitam trabalhadores como empregados do Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO), com o objetivo de promoção e preservação da saúde do conjunto dos trabalhadores. (BRASIL, NR 07, g).
3. NR 15: descreve as atividades e/ou operações insalubres que justificam o adicional para os trabalhadores expostos acima dos limites de tolerância.

Essa legislação adota como conceito de limite de tolerância a concentração ou intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará danos à saúde do trabalhador, durante a vida laboral. Nesta norma, em seu Anexo nº 5, são definidos especificamente os limites de tolerância para os indivíduos expostos a RI diretamente vinculando à norma CNEN NN 3.01, cujo objetivo é estabelecer os requisitos básicos de proteção radiológica das pessoas em relação à exposição à radiação ionizante. (BRASIL, NR 15, e).

Nas atividades ou operações onde os trabalhadores possam ser expostos às radiações ionizantes, os limites de tolerância, os princípios, as obrigações e controles básicos para a proteção do homem e do seu meio ambiente contra possíveis efeitos indevidos causados pela radiação ionizante, são os constantes da Norma CNENNN3.01. (BRASIL, NR 15, e) e (CNEN, 2014, a).

4. NR 32: trata da Segurança e da Saúde dos trabalhadores em estabelecimentos de saúde. No item 32.4 desta norma, estabelece que o atendimento das exigências da NR com relação às aplicações das radiações ionizantes, não desobriga o empregador a observar as demais disposições definidas pelas normas específicas da CNEN e da ANVISA. (BRASIL, NR, 32, g).

Há outras normas e regulamentos legais aplicadas à operação normal de serviços e equipamentos que envolvem radiação ionizante, no entanto é importante observar que o uso seguro dessa tecnologia só é possível se houver uma cultura de radioproteção implantada e disseminada para toda a sociedade. Para isso é importante que ocorra ações e orientações educativas aos profissionais envolvidos no uso destas tecnologias.

O valor máximo de exposição à radiação recomendado pela ICRP para o público e para o profissional que trabalha com radiação ionizante é chamado de limite de dose.

O limite de dose anual para público em geral é de 1 m.Sv (ou 1.000 μ .Sv) e, para os IOE, a dose limite é de 20 m.Sv por ano (em uma média de 5 anos), sendo que, por ano não deve ultrapassar a 50 m.Sv. O limite de dose não inclui a

exposição à radiação natural ou a exposição a tratamentos médicos. (CNEN, 2014, (a).)

Na norma CNEN NN 3.01 são definidos os limites de exposição à radiação, dose equivalente, dos IOE, conforme a Tabela 12.

Tabela 11: Limitação da dose individual.

Limites de Dose Anuais [a]			
GRANDEZA	ÓRGÃO	IOE	INDIVÍDUO DO PÚBLICO
Dose efetiva (E)	Corpo inteiro	20 m.Sv [b]	1 m.Sv [c]
Dose equivalente (H _T)	Cristalino	20 m.Sv [b] <i>(Alterado pela Resolução CNEN 114/2011)</i>	15 m.Sv
	Pele [d]	500 m.Sv	50 m.Sv
	Mãos e pés	500 m.Sv	-

Fonte: CNEN, 2014, a.

a) Para fins de controle administrativo efetuado pela CNEN, o termo dose anual deve ser considerada 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 m.Sv em qualquer ano.

(Alterado pela Resolução CNEN 114/2011)

c) Em circunstâncias especiais, a CNEN poderá autorizar um valor de dose efetiva de até 5 m.Sv em um ano, desde que a dose efetiva média em um período de 5 anos consecutivos, não exceda a 1 m.Sv por ano.

d) Valor médio em 1 cm² de área, na região mais irradiada.

Os valores 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 a idade de 70 anos para crianças), causadas por incorporações ocorridas no mesmo ano.

O item 5.4.2.2 da Norma CNEN NN 3.01 orienta que:

- As mulheres grávidas, ocupacionalmente expostas, devem ter suas tarefas controladas de forma que desde sua notificação de gravidez, seja improvável que o feto receba dose efetiva superior a 1 m.Sv no decorrer da gestação;
- Pessoas com idade inferior a 18 anos não poderão estar envolvidos e expostos a exposições ocupacionais;
- Os limites de dose estabelecidos não são considerados quanto a exposições médicas de acompanhantes e voluntários que

eventualmente estão acompanhando os pacientes. As doses devem ser muito restritas de tornando improvável que esses acompanhantes ou voluntários recebam mais de 5 m.Sv durante o período de atendimento (diagnóstico ou tratamento do paciente).

Os limites de dose ocupacionais são estabelecidos de modo que os trabalhadores não recebam doses radioativas que possam causar os efeitos determinísticos (doenças como catarata, esterilidade, epilação transitória ou definitiva e anomalias congênitas). Os limites de doses visam reduzir ao mínimo possível à possibilidade de efeitos estocásticos incluindo a carcinogênese e as alterações genéticas (CNEN, 2014, a).

Para este controle é utilizado o dosímetro (também chamado de monitor individual) que é um pequeno dispositivo de medição de radiação distribuído aos IOE. Sua função é identificar de modo contínuo a quantidade de radiação que o IOE está sendo exposto no decorrer de suas atividades. Deve ser fornecido para todos os IOE expostos a radiação e seus dados recebidos e armazenados pelo CNEN, através da IRD, GDOSE.

“...uma coisa importante: o dosímetro não serve para proteger o trabalhador, ele apenas vai avaliar a condição da sua irradiação e também vai poder comprovar que ele está trabalhando corretamente, além disso, serve para, eventualmente, identificar que houve algo que saiu do esperado e aí você pode corrigir rapidamente antes que esta dose aumente no trabalhador”. (MAURÍCIO, 2019).

Os tipos mais convencionais de monitores individuais de dose são:

a) Monitores TLD (Luminescência Termicamente Estimulada):

São aqueles monitores que captam as radiações ionizantes provenientes de raios X e γ . Podem ser apresentados em forma de crachás (monitoram o corpo inteiro,) ou em forma de anel ou pulseira (monitoram a dose das extremidades). A monitoração de extremidade é aplicada nos centros cirúrgicos, radiologia intervencionista, medicina nuclear, ou sempre que as extremidades possam ser significativamente expostas à radiação. Essa modalidade de monitoramento emprega como dosímetro um material termoluminescente que, quando aquecido e após ser exposto à radiação ionizante, apresenta a propriedade de emitir luz em quantidade proporcional à dose de radiação que recebeu ao longo de um

determinado período de exposição, um fenômeno físico nomeado por radiotermoluminescência (Figura 19). Geralmente, os monitores que empregam essa tecnologia são compostos por dois dosímetros termoluminescentes sendo um de fluoreto de lítio e outro de sulfato de cálcio.



Figura 19: Modelos dosímetros individuais do tipo TLD.

Fonte: Internet (vi).

b) Monitores OSLD (Dosimetria por Luminescência Ópticamente Estimulada).

São modelos de monitores que empregam tecnologia de dosimetria por luminescência ópticamente estimulada e são utilizadas por indivíduos ocupacionalmente expostos às radiações ionizantes. Estes tipos de monitores, após expostos à radiação ionizante e ao serem estimulados pela luz, apresentam propriedade de emitir luz em quantidade proporcional à dose de radiação que recebeu ao longo de um determinado período de exposição. Os monitores também são disponibilizados em forma de crachás ou em forma de pulseira. O material utilizado como detector nos monitores OSLD é o óxido de alumínio e seu método de leitura emprega laser de alto desempenho ou LED, (Diodo Emissor de luz, da sigla em inglês), como fontes de excitação, dependendo do modelo de monitor e leitor adotado.

Conforme o resultado da leitura dos monitores individuais, quando acima dos limites estabelecidos na legislação, deve-se iniciar as providências que inclui o controle das condições ambientais, a organização do trabalho, as dosimetrias sequenciais realizadas e o aumento da vigilância médica.

O nível de investigação é de 1,5 m.Sv por mês (nível de referência em que, quando atingido ou excedido, torna necessária a avaliação das causas e consequências dos fatos que levaram à detecção deste nível, bem como a proposição de ações corretivas necessárias), não podendo o acumulado no ano, exceder 20 m.Sv sendo esta a média ponderada em cinco anos consecutivos, desde que não exceda 50 m.Sv em qualquer ano. (CNEN, 2014, a).

A Figura 20 representa as posições usuais dos dosímetros em um procedimento intervencionista na medicina com exposição à radiação.

O dosímetro pessoal principal tem que estar sob o avental plumbífero, à altura do tórax, direcionado à fonte de radiação. O segundo dosímetro pode ser localizado acima do avental, na altura do pescoço, e o terceiro perto do olho ou no dedo da mão.

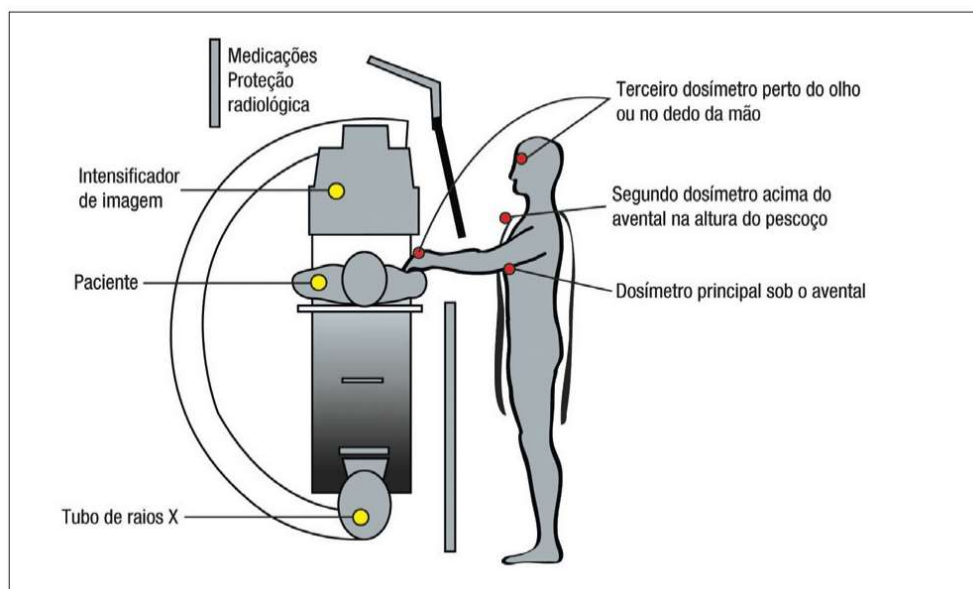


Figura 20: Posições recomendadas para utilização dos dosímetros.

Fonte: Leyton et al., 2014.

Para que este controle fosse devidamente realizado, a legislação brasileira que trata da segurança e da saúde no trabalho passou a adotar, desde 1994, a obrigatoriedade de as empresas elaborarem e atenderem às seguintes NR's: NR 9, Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA) e a NR 7, Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO), passando a considerar as questões incidentes não somente sobre o indivíduo, mas também sobre a coletividade de trabalhadores. Na compreensão científica moderna não existe

limite de exposição a cancerígenos em que se possa garantir a inocuidade para a saúde. Assim, qualquer nível de exposição é considerado capaz de desencadear o efeito iniciador ou promotor do câncer relacionado ao trabalho. Embora os órgãos tenham se esforçado para disseminar informações relacionadas às atividades de PR, também foi apontado que, mesmo entre os profissionais da área, há pouco entendimento da legislação, principalmente quanto aos efeitos e danos causados pela exposição à radiação ionizante. Este fato soma-se ao baixo comprometimento em utilizar os protetores e ainda os monitores de radiação.

O arcabouço legal jurídico visando à proteção da radiação ionizante no ambiente do trabalho é muito extenso e envolve várias legislações, decretos e normas. As Tabelas 12, 13 e 14 apresentam as Legislações e NR's brasileiras, onde a Tabela 12 se refere às radiações ionizantes e na Tabela 13 é apresentada as normas referentes à saúde e à segurança dos trabalhadores em radioterapia estabelecidas pelo ME. Dentre estas normativas e legislações, destacam-se as Normas Nucleares da CNEN específicas para a área de medicina que atua com radioterapia e medicina nuclear, apresentadas na Tabela 14.

Tabela 12: Principais legislações e NR's referentes a RI.

ITEM	LEGISLAÇÃO	AMBIENTE DE SAÚDE / RI
01	Lei nº 1.234 de 14/11/1950 Decreto nº 81.384 de 22/02/1978	Direitos/vantagens a servidores que operam com raios X e substâncias radioativas
02	Lei nº 6.437 de 20/08/1977	Estabelece as infrações/sanções à legislação sanitária federal. Concessão de gratificação por atividades com raios X ou substâncias radioativas, conforme Lei nº 1.234
03	Lei nº 7.394 de 29/10/1985 Decreto nº 92.790 de 17/06/1986	Regula o exercício da profissão de Técnico em Radiologia
04	Resolução nº 06 de 21/12/1988 – Conselho Nacional de Saúde	Medidas de radioproteção para pacientes, profissionais expostos a RI e população
05	CF 1988; artigo 200	Participação do SUS no controle de materiais radioativos e radiação ionizante no país
06	Lei nº 8.080 de 19/09/1990	Lei do SUS - Condições para promoção, proteção e recuperação da saúde, organização e funcionamento dos serviços
07	Portaria SVS/MS nº 453 de 01/06/1998	Aprova o Regulamento Técnico e diretrizes básicas de PR em radiodiagnóstico médico/odontológico, dispõe sobre o uso dos raios X diagnósticos
08	Instrução Normativa nº 002/DIVS/SES de 24/10/2008	Dá cumprimento à Portaria Federal nº 453, controle ocupacional dos trabalhadores com exposições ocupacionais às RI
09	Instrução Normativa nº 004/DIVS/SES 02/09/2010	Implanta o cumprimento à Portaria Federal 453 referentes aos serviços Hemodinâmica/Cardiologia Intervencionista
10	Instrução Normativa nº 001/DIVS de 07/03/2013	Cadastramento obrigatório dos prestadores de serviços, na avaliação de equipamentos e ambientes na área de PR em radiologia médica/odontológica
11	Instrução Normativa nº 002/DIVS de 07/03/2013	Estabelece formulários para serviços de Radiologia Médica
12	Instrução Normativa nº 001/2014/DIVS/SES de 27/03/2014	Sistema de Informação Estadual de RI, disponível na web, gerenciando exposições dos indivíduos ocupacionalmente expostos e acompanhamento das exposições médicas em procedimentos de radiologia intervencionista. Ferramenta inovadora entre as autoridades reguladoras da América Latina
13	MS PORTARIA 1339	Lista de doenças relacionadas ao trabalho
14	NHO 05 – Fundacentro	Norma de Higiene Ocupacional 05, Avaliação da Exposição Ocupacional aos Raios X nos Serviços de Radiologia
15	Lei nº 9605 de 12/02/1998	Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.

16	Resolução CNS nº 06	Normas técnicas gerais da radioproteção
17	Decreto nº 877/1993	Regulamenta a concessão do adicional de irradiação ionizante (servidores civis da União, das autarquias e das fundações públicas federais)

Fonte: (Autor).

Tabela 13: Principais NR's- proteção da saúde ocupacional.

ITEM	NORMA	COMPETÊNCIA / ATUAÇÃO / PROCEDIMENTO / CONDIÇÕES DE TRABALHO
01	NR 4	SESMT: Quanto aos Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho. Finalidade de promover a saúde e proteger a integridade do trabalhador no local de trabalho
02	NR 6	EPI's: Obrigações do empregador/empregado quanto aos EPIs. Para trabalhador exposto a RI, os EPIs são luvas, óculos além de vestimentas para proteção do tronco contra riscos de origem radioativa
03	NR 7	PCMSO – Quanto ao Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional: objetivo é a promoção e preservação da saúde do conjunto dos seus trabalhadores. Busca diagnosticar e tratar possíveis riscos ocupacionais precocemente, por meio de hemograma e contagem de plaquetas, realizado no ato admissional e semestralmente pelo trabalhador
04	NR 9	PPRA – Quanto ao Programa de Prevenção de Riscos Ambientais - Avaliação e controle das exposições ocupacionais a agentes físicos, químicos e biológicos. Instruir quanto ação que garanta preservação da saúde dos trabalhadores, por meio do reconhecimento e controle da ocorrência de riscos ambientais no ambiente de trabalho, considerando a proteção do meio ambiente e dos recursos naturais
05	NR 15	Atividades e Operações insalubres. Estabelece

		parâmetros para atividades insalubres. Limites de tolerância, princípios e obrigações para a proteção do homem e do meio ambiente contra efeitos indevidos causados pela RI, constam também na norma CNEN NN 3.01: Diretrizes Básicas de Radioproteção
06	NR 16	NR 16 - Atividades e operações perigosas. Incluem as instalações de saúde que tenham sala de diagnósticos e terapia com medicina nuclear, salas de irradiação e de operação de aparelhos de raios-X e de irradiadores α , β ou nêutrons e rejeitos radioativos
07	NR 32	Diretrizes básicas para a implementação de medidas de proteção à segurança e à saúde dos trabalhadores dos Serviços de Saúde. Reforça a obrigatoriedade de manter no local de trabalho e à disposição da inspeção do trabalhador o Plano de Proteção Radiológica, PPR, aprovado pela CNEN.
08	RDC Nº 20/2006 DA ANVISA	Estabelece o regulamento técnico para o funcionamento de serviços de radioterapia, visando à defesa da saúde dos pacientes, dos profissionais envolvidos e do público em geral
09	RDC nº 50/2002 DA ANVISA	Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde
10	RDC nº 330/2019 ANVISA	Regulamento e controle das exposições médicas, ocupacionais e do público decorrente do uso de tecnologias radiológicas diagnósticas ou intervencionistas (radiologia médica e odontológica, mamografia, fluoroscopia, tomografia, deultrassonografia e ressonância magnética nuclear)

Fonte: Autor.

Tabela 14: Normas Nucleares Específicas.

ITEM	NORMA	COMPETÊNCIA
GRUPO 03: RADIOPROTEÇÃO		
01	CNEN NN 3.01	Diretrizes básicas de proteção radiológica. Estabelecer os requisitos básicos da proteção radiológica
02	CNEN NN 3.02	Serviços de Radioproteção
03	CNEN NN 3.03	Certificação da qualificação de supervisores de radioproteção
04	CNEN NN 3.05	Requisitos de radioproteção e segurança para serviços de medicina nuclear
05	CNEN NN 3.06	Requisitos de radioproteção e segurança para serviços de radioterapia
GRUPO 05: TRANSPORTE		
01	CNEN NN 5.01	Transporte de materiais radioativos
GRUPO 06: INSTALAÇÕES RADIATIVAS		
01	CNEN NN 6.01	Requisitos para o registro de pessoas físicas para o preparo, uso e manuseio de fontes radioativas
01	CNEN NN 6.02	Licenciamento de instalações radiativas.
02	CNEN NN 6.06	Gerência de rejeitos radioativos em instalações radioativas
03	CNEN NN 6.10	Estabelece os requisitos necessários à segurança e proteção radiológica, relativos ao uso de fontes de radiação constituídas por materiais ou equipamentos capazes de emitir radiação ionizante para fins terapêuticos
04	CNEN NN 7.01	Estabelece os requisitos necessários à certificação da qualificação de supervisores de proteção radiológica
05	Portaria nº 1, CNEN, 1995	Sistemática para Certificação de Serviços de Monitoração Individual Externa
06	CNEN PR-3.01/002	Fatores de Ponderação para as Grandezas de Proteção Radiológica
07	CNEN PR 3.01/004, 2005 c	Restrição de Dose, Níveis de Referência Ocupacionais e Classificação de Áreas
08	CNEN, 2005	Crítérios para Cálculo de Dose Efetiva a Partir da Monitoração Individual

Fonte: Autor.

A NR 04 determina que as empresas privadas e públicas e os órgãos públicos que possuam empregados regidos pela CLT devem manter, obrigatoriamente, Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho (SESMT) com a finalidade de promover a saúde e proteger a integridade do trabalhador no seu local de trabalho (BRASIL, NR 04, a).

Desta forma, em uma Instituição de saúde que atua com prática de Radioterapia, a PR é apenas uma das atividades do SESMT. Além disso, todos os registros devem ser mantidos por período mínimo de 20 (vinte) anos após o desligamento do servidor exceto no caso de trabalhadores expostos à radiação ionizante. Segundo item 32.4.7 da NR 32 “O prontuário clínico individual previsto pela NR 07, deve ser mantido atualizado e ser conservado por 30 (trinta) anos após o término da sua ocupação”.(BRASIL, NR 32, g).

Assim, nota-se que a legalização para a prática de um serviço de radioterapia deve estar submetida às diversas legislações, entre elas, uma dupla regulamentação sanitária incluindo a CNEN e a ANVISA. Isto ocorre, pois, a forma de tratamento utilizado na área da saúde apresenta elevado risco e, além disso, está subordinada por princípios internacionais a fim de promover o constante monitoramento e controle a nível mundial.

6.

Estudo de Caso

6.1

O problema a ser estudado

O problema a ser abordado neste estudo de caso é a radiação ionizante que pode trazer efeitos nocivos à saúde dos IOE que atuam no setor de radioterapia do Hospital do Câncer 1 (HC 1) pertencente ao INCA. Há riscos também para o público em geral e ao meio ambiente. A proposta da pesquisa é identificar se os profissionais que desenvolvem suas atividades laborais no setor de radioterapia da Instituição estão devidamente protegidos quanto à radioatividade existente nos locais de trabalho.

Verificaram-se as medidas adotadas pela Instituição referente à proteção radiológica e se estas seguem as recomendações das normas CNEN NN 3.01, NR 32 e RDC nº 20/2006 da ANVISA.

A coleta de informações fez-se com base em pesquisa de campo, entrevistas com os responsáveis do setor de radioterapia, entrevistas com os trabalhadores e mediante análise dos procedimentos e medidas de segurança adotadas visando à radioproteção.

No final da dissertação, é indicado sugestões de melhorias que poderão ser acrescentadas na rotina da Instituição dentro das possibilidades.

6.2

Levantamento das informações

Para identificar as respostas ao problema levantado neste estudo “...há proteção quanto a radiação ionizante eficaz para os IOE, usuários, público em geral e meio ambiente no setor de radioterapia do INCA, no HC 1, considerando a prática de teleterapia?”, o autor se propôs a levantar as seguintes informações:

- i. Quanto à existência de treinamento, capacitação e atualização de informações aos funcionários que operam no setor de radioterapia;
- ii. Quanto à distribuição de equipamentos de proteção individual de segurança (EPI's) para os trabalhadores do setor de radioterapia;

- iii. Quanto à existência dos equipamentos de proteção coletiva, (EPC's) entre eles barreiras de proteção, controle de acesso, blindagem de portas/pisos/paredes; iluminação de emergência, sinalização de segurança adequada, meios de comunicação entre salas de operação e salas de exames, botoeiras de acionamento de emergência, entre outros;
- iv. Quanto ao monitoramento da dose efetiva de radiação recebida pelos IOE, verificada nos cartões de monitoramento (dosímetros individuais). Confirmar se os funcionários recebem cartões de monitoramento e se estes estão sendo devidamente analisados e gerenciados pelos órgãos de controle definidos pelo CNEN conforme a exigência legal;
- v. Analisar o Plano de Proteção Radiológica (PPR) existente no serviço de radioterapia, documento exigido pela NR 32, e a efetividade deste na prática;
- vi. Conferir se há autorização vigente dos órgãos fiscalizadores CNEN e da ANVISA para o funcionamento dos serviços de radioterapia;
- vii. Conferir se há monitoramento da saúde dos funcionários através de exame de sangue e contagem de plaquetas;
- viii. Verificar a existência dos documentos exigidos pela legislação trabalhista, entre eles, PPRA; PCMSO, entre outros e se estes vêm sendo aplicados na rotina do ambiente de trabalho em estudo.

O levantamento de dados foi realizado através de pesquisa de campo realizado entre os dias 07/07/2020 a 14/07/2020, ocasião em que foram entrevistados 19 profissionais do setor de radioterapia (técnicos de radioterapia), 03 profissionais do setor de radioproteção e 01 do setor de segurança do trabalho todos pertencentes ao quadro de servidores da Instituição.

Os técnicos de radioterapia responderam ao questionário constante no Apêndice 01 e suas respostas foram compiladas e lançadas nos gráficos apresentados no capítulo seguinte para análise.

7.

Apresentação dos Resultados

7.1

Caracterização geral do local em estudo

As informações que seguem foram obtidas através de visitas ao local de estudo, entrevistas com os servidores do INCA, respostas dos questionamentos realizados (Apêndice 01), consultas aos documentos e banco de dados oficiais disponibilizados ao autor através do SEI (Sistema Eletrônico de Informações), além do Plano de Proteção Radiológica (PPR) entre outros. As verificações presenciais ocorreram no INCA, Hospital do Câncer I (HC I), no setor de Radioterapia, situado na Praça da Cruz Vermelha, nº 23, Centro, Rio de Janeiro - RJ.

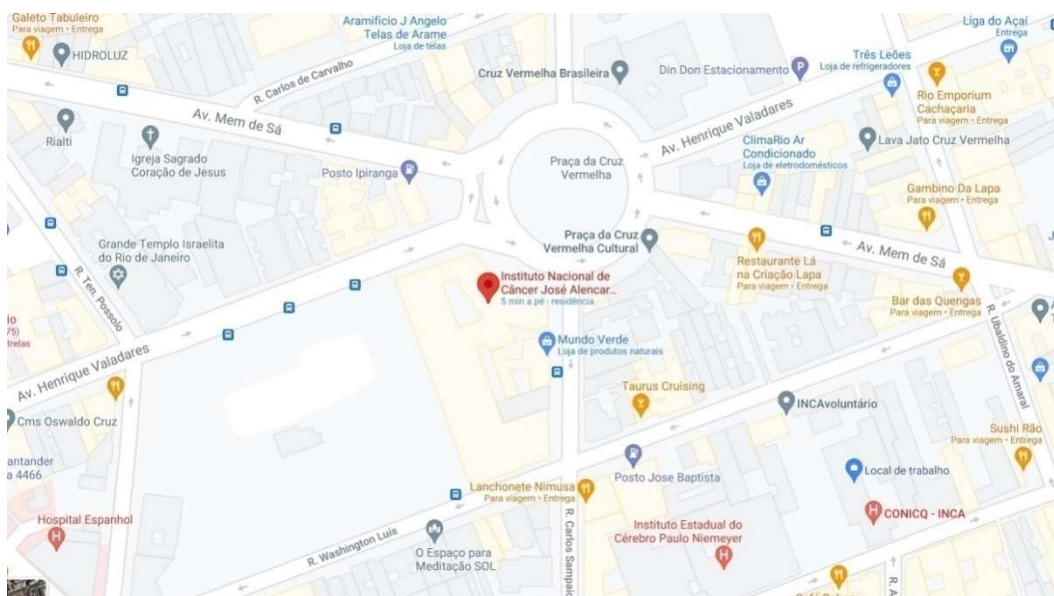


Figura 21: Planta de localização do INCA HC 1.

Fonte: Google Maps.

A observação limitou-se aos procedimentos realizados no setor de Radioterapia da Instituição envolvendo os serviços de teleterapia as quais aplicam a radiação ionizante por meio dos aceleradores linear e irradiadores clínicos (aparelho de telecobaltoterapia).

O INCA é um instituto vinculado ao MS (Ministério da Saúde) que presta assistência médico-hospitalar especializada no tratamento de câncer exclusivamente ao SUS (Sistema Único da Saúde). Além disso, também forma recursos humanos em nível de pós-graduação e realiza atividades de pesquisas

clínicas que possibilitam a melhora dos resultados obtidos com o tratamento do câncer. O setor de radioterapia do INCA, unidade HC 1, atende diariamente aproximadamente 400 pacientes e possui uma equipe multidisciplinar composta por profissionais de formação variada.



Figura 22: Prédio do INCA, HC I, Rio de Janeiro.

Fonte: Autor.

O INCA possui dois Serviços de Radioterapia estando um deles instalado no Hospital do Câncer I, na unidade HC 1, localizado na Praça da Cruz Vermelha, Centro, e o outro na unidade HC 3, localizado na Rua Visconde de Santa Isabel, Vila Isabel, ambos no Rio de Janeiro. Ao todo, a Instituição possui seis equipamentos de teleterapia de megavoltagem sendo três aceleradores

lineares e dois equipamentos de cobalto instalados no HC 1 e um acelerador linear instalado no HC 3.

Segundo os profissionais do INCA, a maior parte destes equipamentos de teleterapia já ultrapassou o tempo de vida útil e consta, no planejamento do Biênio 2020/2021, a substituição gradativa destes, através do MS, evitando a ausência de ofertas de tratamentos em radioterapia na rede do SUS em todo Estado do Rio de Janeiro.

Dos cinco equipamentos de teleterapia disponíveis no HC 1, dois são equipamentos que possuem o cobalto como emissor da radiação ionizante e cujo funcionamento iniciou-se em 1982. Estes possuem grande defasagem tecnológica e progressiva limitação da capacidade de tratamento, pois possuem possibilidades limitadas de atualização o que não proporcionaria substancial melhora em sua funcionalidade.

De modo geral, o Serviço de Radioterapia do INCA no HC 1, dispõe dos equipamentos emissores de radiação ionizante apresentados na Tabela 15.

Tabela 15: Inventário das fontes de radiação ionizante (INCA/HC I).

Aparelho	Fonte Radiação	Atividade	Marca do Equipamento	Modelo	Quant.
Acelerador linear	Elétrica	Feixes de raios X com potencial de 6MeV	Varian	Clinac 600 C	1
Acelerador linear	Elétrica	Feixes de raios X com potencial de 6 e 15 MeV	Varian	Clinac 2300 CD	1
Acelerador linear	Elétrica	Feixes de raios X com potencial de 6 e 10 MeV	Varian	Trilogy	1
Irradiador clínico - telecobaltoterapia	⁶⁰ Co	10.728 Ci	AECL	Theratron 780 C	1
Irradiador clínico - telecobaltoterapia	⁶⁰ Co	10.849 Ci	AECL	Theratron 780 X	1
Equipamento de raios X (Simulador)	Elétrica	125 kV	Varian	Ximatron	1
Equipamento de raios X – Simulador	Elétrica	kVmax: 125 kV	Varian	Acuity	1
Equipamento de raios X- Simulador	Elétrica	kVmax: 150kV	Shimadzu	Mobile ArtEvolution	1
Equipamento de raios X -Tomógrafo	Elétrica	kVmax: 140kV	Philips	Brilliance Big Bore	1
Braquiterapia - tipo HDR	¹⁹² Ir	10,0 Ci	GammaMed Plus	Série 097	1
Braquiterapia oftálmica – tipo LDR	¹⁰⁶ Ru	23,4 MBq	-	-	1
Placa betaterapia oftálmica (grande)	⁹⁰ Sr	50 mCi	-	Technology LTD	1
Placa betaterapia oftálmica (pequena)	⁹⁰ Sr	100 mCi	-	Technology LTD	1

Fonte: INCA.

A composição dos profissionais atuantes no setor de radioterapia no INCA, HC I é apresentada na Tabela 16 a seguir.

Tabela 16: Relação de profissionais no setor de radioterapia do HC I.

Função	Quantidade	Carga Horária Semanal
Médico Radioterapeuta	16	24 h
Físico médico	9	24 h
Engenheiro clínico com especialidade em equipamentos de radiação	2	40 h
Técnico em equipamentos	1	40 h
Técnico/tecnólogo em radioterapia	36	24 h
Dosimetrista	2	24 h
Enfermeiros	3	24 h
Técnicos em enfermagem	7	24 h

Fonte: INCA.

As principais atividades e os riscos quanto à radiação ionizante para os profissionais relacionados acima são apresentados nos quadros abaixo:

i. Médico Radioterapeuta

Função	Risco	Categoria	Fonte	Exposição
Médico radioterapeuta	Radiação ionizante	Crítica, G III	Aparelho de RaiosX / acelerador linear / aparelho de ionização (Telecobaltoterapia) / braquiterapia	Habitual
Descrição das atividades				
Avaliação clínica do paciente; Estabelecimento do plano de tratamento; discussão dos pareceres durante a consulta, incluindo diagnóstico e estado clínico; propor o plano de tratamento que estabelece a dose, fracionamento e técnica. Aplicação do tratamento; avaliação do paciente durante o tratamento; Avaliação do prosseguimento (deve estabelecer um programa que detalhe a frequência do seguimento do paciente depois do tratamento), quando se avaliará a resposta e a morbidade do tratamento. Biópsias, orientação e acompanhamento de exames, suporte a pacientes, laudos, treinamento de médicos e residentes. notificar ao Responsável Técnicos eventos adversos graves ocorridos no serviço de radioterapia de que tenha conhecimento.				
Medidas de Controle				
Individuais			Coletivas	
Avental plumbífero, protetor de tireoide, óculos plumbífero; luvas plumbíferas.			Plano de proteção radiológica, blindagens em portas, paredes, teto, dosímetros, placas de sinalização orientação quanto ao uso adequado dos EPI.	

ii. *Físico médico*

Função	Risco	Categoria	Fonte	Exposição
Físico médico	Radiação ionizante	Crítica, G III	Aparelho de Raios X / acelerador linear / aparelho de ionização (Telecobaltoterapia) / braquiterapia	Habitual
Descrição das atividades				
<p>Atua na operacionalização técnica do plano de tratamento prescrito pelo radioterapeuta. Especificar, calibrar e manusear equipamentos; desenvolver e executar programas de aceitação, controle e garantia de qualidade dos equipamentos e imagens de medicina nuclear; atuar em proteção radiológica; proceder a dosimetria de pacientes: realiza ou supervisiona cálculos e medidas necessárias para determinar doses absorvidas ou distribuições de doses empacientes. Cabe ao radioterapeuta a avaliação e propostas de otimização do planejamento de tratamento.</p> <p>Programa de Garantia da Qualidade: deve assegurar que a política e os procedimentos contêm os elementos apropriados da boa prática, de aplicação do tratamento, de proteção, controle da qualidade e cumprimento dos regulamentos. O físico médico especifica os padrões básicos que serão verificados no momento de se aceitar um equipamento e devem colocá-lo em serviço para uso clínico. Adapta ou desenvolve os procedimentos de aceitação e comissionamento, e estabelece realiza controles da qualidade periódicos que verifiquem se os valores de referência estão dentro de margens aceitáveis. Apoiar na área de Radiofarmácia; Apoiar as indicações clínicas; Atuar no treinamento e formação de recursos humanos na área de medicina nuclear; Dar apoio administrativo e logístico em assuntos relacionados ao planejamento, uso, compra e transporte de equipamentos e materiais radioativos não-selados e seus derivados; Formular, organizar, participar, gerenciar, procurar apoio financeiro e outras atividades relacionadas a desenvolvimentos de projetos de pesquisa na área; Realizar demais atividades inerentes ao emprego.</p>				
Medidas de Controle				
Individuais			Coletivas	
Avental plumbífero, protetor de tireoide, óculos plumbífero; luvas plumbíferas.			Plano de proteção radiológica, blindagens em portas, paredes, teto, dosímetros, placas de sinalização orientação quanto ao uso adequado dos EPI.	

iii. Técnico ou tecnólogo em radioterapia

Função	Risco	Categoria	Fonte	Exposição
Técnico em radioterapia	Radiação ionizante	Crítica, G III	Aparelho de RaiosX / acelerador linear / aparelho de ionização (Telecobaltoterapia) / braquiterapia	Habitual
Descrição das atividades				
Realizar exames radiográficos convencionais; processar filmes radiológicos, preparar soluções químicas e organizar a sala de processamento; preparar o paciente e o ambiente para a realização de exames nos serviços de radiologia e diagnóstico por imagem; auxiliar na realização de procedimentos em radioterapia; acompanhar a utilização de meios de contraste radiológicos, observando os princípios de proteção radiológica, avaliando reações adversas e agindo em situações de urgência, sob supervisão profissional pertinente; realização de exames em leito, (UTI, Emergência, CC)				
Medidas de Controle				
Individuais			Coletivas	
Avental plumbífero, protetor de tireoide, óculos plumbífero; luvas plumbíferas.			Plano de proteção radiológica, blindagens em portas, paredes, teto, dosímetros, placas de sinalização orientação quanto ao uso adequado dos EPI.	

iv. Engenheiro clínico

Função	Risco	Categoria	Fonte	Exposição
Engenheiro clínico	Radiação ionizante	Crítica, G III	Aparelho de RaiosX / acelerador linear / aparelho de ionização / braquiterapia	Habitual
Descrição das atividades				
Atuar na gestão de tecnologias dos equipamentos médico assistenciais; planejar, definir e executar políticas e programas para incorporação de novas tecnologias para a saúde; coordenar atividades de manutenção predial e hospitalar; elaborar cronograma de manutenção preventiva e corretiva; elaborar relatórios.				
Medidas de Controle				
Individuais			Coletivas	
Avental plumbífero, protetor de tireoide, óculos plumbífero; luvas plumbíferas.			Plano de proteção radiológica; blindagens em portas, paredes, teto, dosímetros, placas de sinalização orientação quanto ao uso adequado dos EPI.	

v. *Dosimetrista*

Função	Risco	Categoria	Fonte	Exposição
Dosimetrista	Radiação ionizante	Crítica, G III	Aparelho de RaiosX/ acelerador linear / aparelho de ionização por radiação (Telecobaltoterapia) / braquiterapia	Habitual
Descrição das atividades				
Responsável pela distribuição e cálculo das doses de radiação; garantir a calibração e funcionalidade dos aceleradores; ter conhecimento em áreas de tratamento de câncer e braquiterapia; auxiliar na prescrição da radiação considerando a dose necessária para o tratamento sem o impacto nos órgãos próximos à lesão neoplásica; ser responsável por auxiliar a traçar um plano de tratamento para o paciente; ter alto nível de resolução de problemas; habilidades matemáticas; elaborar relatórios, indicadores de desempenho e ordens dos serviços executados; Atender às demandas solicitadas pelas áreas operacionais do hospital; Realizar demais atividades inerentes ao emprego				
Medidas de Controle				
Individuais			Coletivas	
Avental plumbífero, protetor de tireoide, óculos plumbífero; luvas plumbíferas.			Plano de Proteção Radiológica, blindagens em portas, paredes, teto, dosímetros, placas de sinalização orientação quanto ao uso adequado dos EPI.	

7.2**Procedimentos para coleta de dados**

O autor assistiu a 04 sessões de radioterapia realizadas através dos equipamentos aceleradores lineares (*LINAC*) da Varian Clinac 600 C e a 03 sessões realizadas no irradiador clínico Theratron 780 C no período de 07/07/2020 a 14/07/2020. As sessões ocorreram no setor radioterapia do INCA, no HC I, localizado no 1º e 2º pavimento, respectivamente.



Figura 23: Porta sala de tratamento do aparelho Clinac 600 C.

Fonte: Autor.

Os aparelhos utilizados nos tratamentos citados possuem as seguintes características:

- Teleterapia com aparelho gerador de radiação ionizante (acelerador linear)

Fabricante: *Varian Oncology Systems*;

Modelo: *Clinac600 C* (Figura 25);

Feixe de Tratamento: raios-x com potencial acelerador nominal de 6 e 15 MV e feixes de elétrons com energias de 4, 6, 9, 12, 16 e 20 MeV;

Local de instalação: Sala *do Clinac600 C* - 1º Andar do prédio anexo do HC 1 (Figura 24).

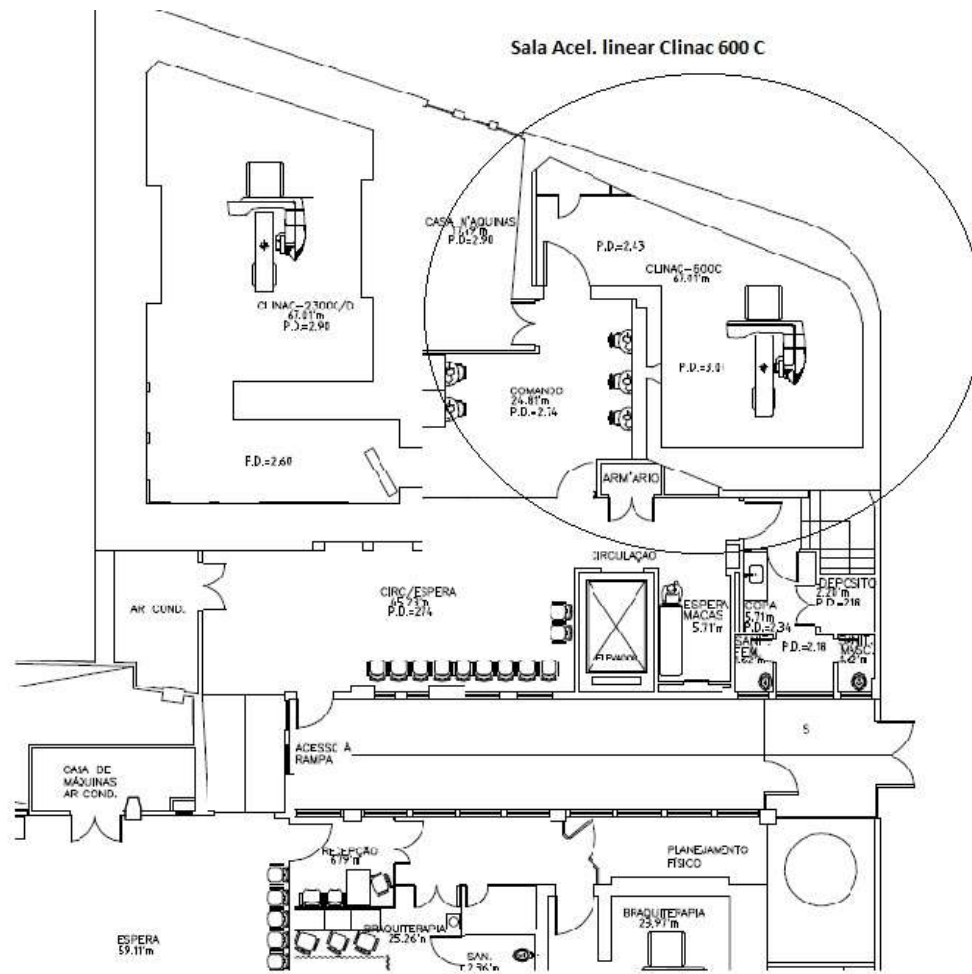


Figura 24: Planta baixa - aparelhos Clinac600 C.

Fonte: INCA.



Figura 25: Aparelho Clinac600 C instalado no INCA, HC I.

Fonte: INCA.

- Teleterapia com fonte selada (irradiador clínico)

Fabricante: Theratronics;

Modelo: Theratron 780 C (Figura 27);

Fonte do feixe de tratamento: ^{60}Co ; a fonte é substituída a cada dez anos, aproximadamente;

Atividade: 10.728 Ci; energia média de 1,25 MeV (radiação gama).

Local de instalação: sala do *Theratron 780 C*, 2º Andar do prédio principal do HC 1. (Figura 26).

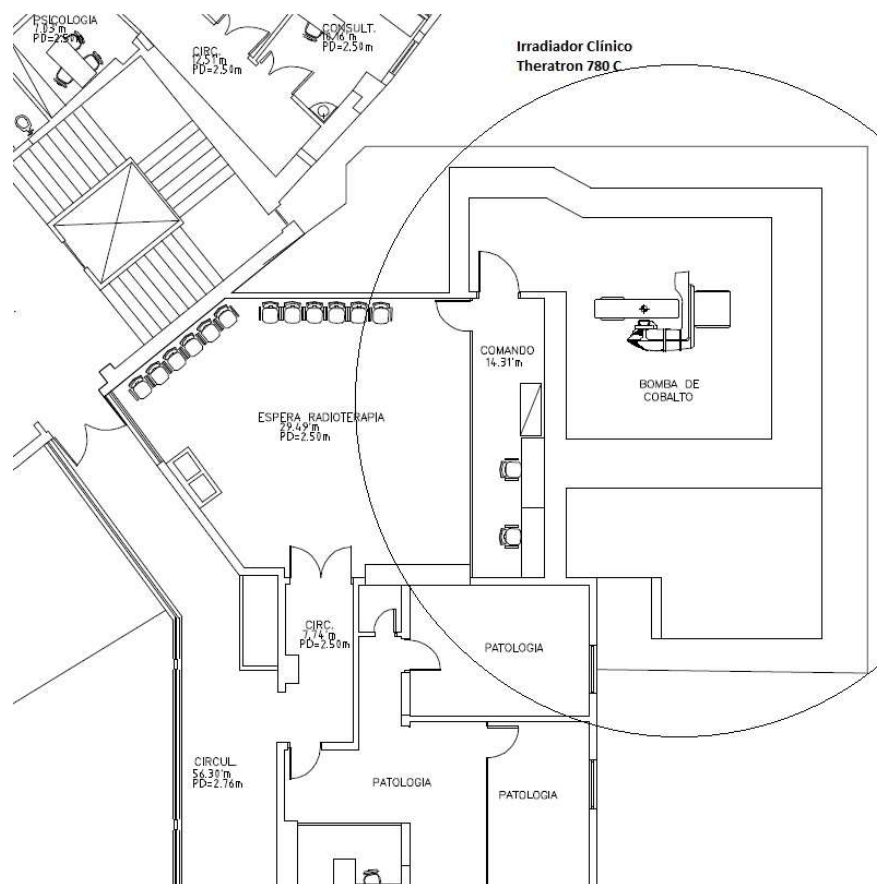


Figura 26: Planta baixa – aparelho Theratron 780 C.

Fonte: INCA.



Figura 27: Aparelho de teleterapia Theratron 780 C.

Fonte: INCA.

As medidas de controle e segurança observadas na sala incluem:

- Porta da sala de tratamento com botoeiras para abertura tanto no lado interno e quanto no lado externo;
- Possui intertravamento que previne o acesso indevido de pessoas não autorizadas na sala de tratamento durante a realização do tratamento, interrompendo a irradiação do equipamento imediatamente quando aberta e possibilitando o reinício do a partir do console do aparelho;
- Acima da porta possui dispositivo luminoso em posição visível de modo a possibilitar a verificação da operação do equipamento;
- Existem botões de emergência (*start in/off*) no console, nas paredes da sala e na mesa de tratamento, para qualquer eventual interrupção do aparelho;

- A partir da sala técnica e sala de tratamento é possível monitorar o paciente através do painel de vidro e além dos aparelhos intercomunicadores;
- Os testes de segurança fazem parte do controle da qualidade diário do funcionamento do equipamento;
- O acesso à sala de tratamento é restrito ao pessoal monitorado;
- A sala de tratamento possui o símbolo internacional de radiação de maneira visível;
- No acesso a sala de tratamento há um painel com os nomes dos responsáveis do setor de radioterapia e radioproteção para eventuais esclarecimentos.

De modo geral, a rotina das atividades no setor de radioterapia inclui:

- Prescrição do volume e da dose de radiação definido pelo médico radioterapeuta baseado no caso clínico de cada paciente;
- Modo e o tempo de aplicação da dose, definido pelo físico médico e pelo dosimetrista;
- A operação, propriamente dita, executada pelos técnicos de radioterapia utilizando o aparelho emissor de radiação nos pacientes.

Na ocasião da visita ao INCA para a coleta de dados, os IOE responderam ao questionário apresentado no Apêndice 01 e expuseram suas respostas quanto ao ambiente de trabalho em relação aos riscos da radiação aos quais estão expostos durante suas atividades.

A população em estudo foi composta por 36 profissionais, sendo que todos são técnicos/tecnólogos em radioterapia e trabalham no HC 1 do INCA.

Os técnicos em radioterapia, de acordo à lei nº 7.394 de 29/10/1985, são os profissionais que executam técnicas radiológicas, no setor de diagnóstico; radioterápicas, no setor de terapia; radioisotópicas, no setor de radioisótopos e de medicina nuclear, além de operações correlatas em indústrias diversas.

A amostra foi composta por 19 técnicos em radioterapia que aceitaram participar do estudo e responderam ao questionário. Os profissionais tiveram a explicação detalhada sobre o tema e os propósitos da pesquisa. Consideraram-se,

como critérios para inclusão na pesquisa, os profissionais que desenvolvem atividades vinculadas à operação com os equipamentos de teleterapia da Instituição. O critério de exclusão considerado foi em relação àqueles que atuam em atividades laborais não relacionadas a equipamentos de teleterapia.

7.2

Resultados obtidos na coleta de dados

7.2.1

Informações obtidas através da pesquisa com os IOE

Dentre os 19 profissionais técnicos em radioterapia que responderam ao questionário, 11 são do sexo feminino e os outros 08 são do sexo masculino. Ainda que seja reduzida a amostra de participantes na entrevista, considerando-se os dados informados pela Instituição, verificou-se que a maioria dos entrevistados, (quase 55%), é composta de profissionais femininos (Gráfico 1). Este fato evidencia a importância de o empregador atender às recomendações da CNEN NN 3.01 que orienta quanto à transferência de profissionais do sexo feminino, quando em fase de gestação, para desenvolver atividades em ambientes que não tenham exposição à radiação.

Dentre os profissionais entrevistados, 16 deles confirmaram cumprir jornada de trabalho de apenas 04 horas/dia na Instituição num total de 20 horas semanais. No artigo 14º da Lei 7.394 que regulamenta a profissão do técnico em radiologia é previsto a jornada de trabalho de no máximo 24 h semanais, o que se pressupõe que a Instituição está adequada à legislação neste quesito. No entanto, ao menos 03 profissionais confirmaram atuar em outro emprego, em jornada extra de trabalho, na função de técnico em radioterapia.

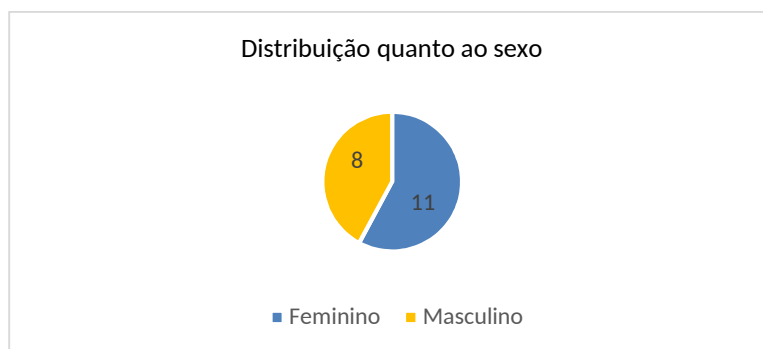


Gráfico 1: Distribuição dos profissionais quanto ao sexo.

Fonte: INCA, julho/2020.

Em relação ao tempo de serviço, parte dos profissionais entrevistados disseram atuar na Instituição há mais de 6 anos (37%) enquanto que a maioria, (63%), são profissionais recém contratados via concurso público, com tempo de atuação entre 0 a 6 anos. (Gráfico2).

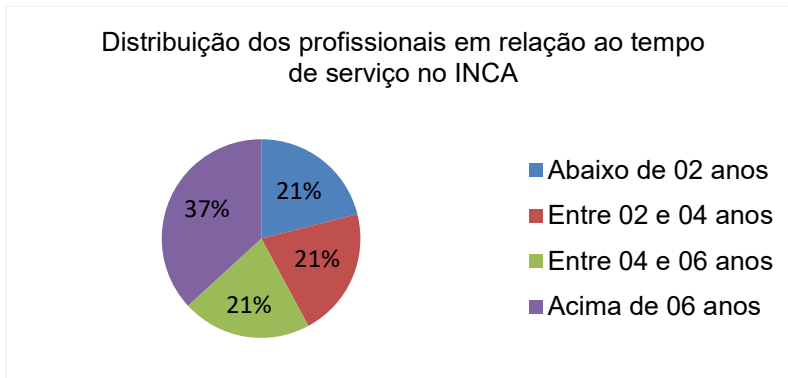


Gráfico 2: Distribuição quanto ao tempo de serviço no INCA.

Fonte: INCA, julho/2020.

Em relação ao grau de instrução, ao menos 53% dos entrevistados possuem curso de pós-graduação. O menor percentual, 21%, refere-se àqueles profissionais que não finalizaram o curso de graduação possuindo formação de ensino no nível técnico.

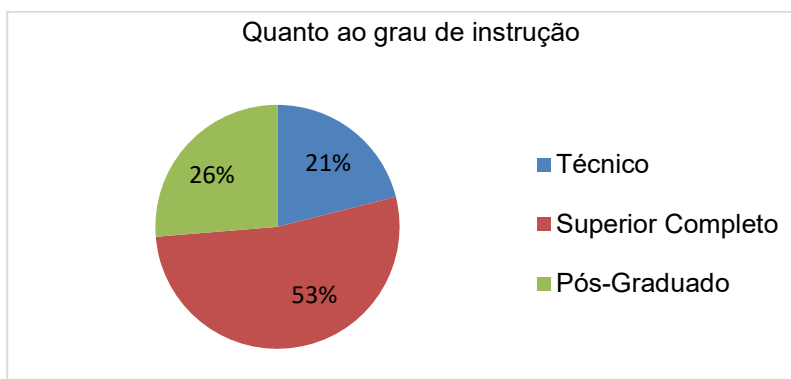


Gráfico 3: Quanto ao grau de instrução.

Fonte: INCA, julho/2020.

De acordo à NR 32, cabe ao empregador efetuar constantes treinamentos e atualizações referentes a temas sobre radioproteção com os seus empregados. O item 5.3.5 da RDC nº 20/2006 da ANVISA, delega ao Supervisor de Proteção Radiológica a competência em elaborar, supervisionar, participar e revisar os programas de treinamentos periódicos em proteção radiológica dos profissionais do serviço(BRASIL, NR 32, g) e (BRASIL, RDC nº 20, 2006, i).Verificou-se que

a Instituição define um Programa Anual de Treinamento sobre atualização e PR detalhando-o em seu PPR.

O curso é ministrado pelos profissionais da própria Instituição, realizado em plataforma virtual no modo EAD, possui carga horária individual de 30 horas e contém temas variados relacionados à radiação e radioproteção. Na última versão do PPR apresentado pela Instituição, verificaram-se os seguintes temas:

Tabela 17: Treinamento quanto à radioproteção.

MÓDULO	TEMA	QUANTIDADE (HR)
Módulo I - Introdução e fundamentos	Apresentação/Introdução à Proteção Radiológica	1
	Radiação no contexto de trabalho do INCA	1
	Física das Radiações	1
	Avaliação e exercícios do primeiro módulo	1
Módulo II - Conceitos, definições e aplicações em Proteção Radiológica	Interação da Radiação com a Matéria I	1
	Interação da Radiação com a Matéria II	1
	Fontes naturais e artificiais	1
	Avaliação I do módulo	1
	Grandezas Radiológicas e Unidades	1
	Detectors de radiação	1
	Radiobiologia	1
	Avaliação II do módulo	1
Módulo III – Especificidades de cara área de aplicação	Proteção Radiológica em Radiodiagnóstico	1
	Proteção Radiológica em Medicina Nuclear	1
	Proteção Radiológica em Radioterapia	1
	Proteção Radiológica nas demais áreas do INCA	1
	Avaliação do módulo	1
Módulo IV – Proteção Radiológica no dia a dia	Monitoração individual – Uso, recomendações e prática	1
	Prática de levantamento Radiométrico	1
	Avaliação Final do Curso	1
Módulo V – Tecnologia e atualidades nas aplicações médicas da radiação	Conteúdo livre de escolha do participante dentro dos materiais e aulas disponibilizadas	10
Carga Horária Total		30

Fonte: INCA, julho/2020.

Ao serem questionados se a quantidade de horas de treinamento aplicado pela Instituição referente à radioproteção era suficiente e condizente com as atividades praticadas, 21% dos entrevistados responderam que não eram suficientes e que poderia ser otimizado. Este fato evidencia a necessidade de o empregador manter estratégias eficazes visando a otimização dos treinamentos junto a sua equipe de trabalho.

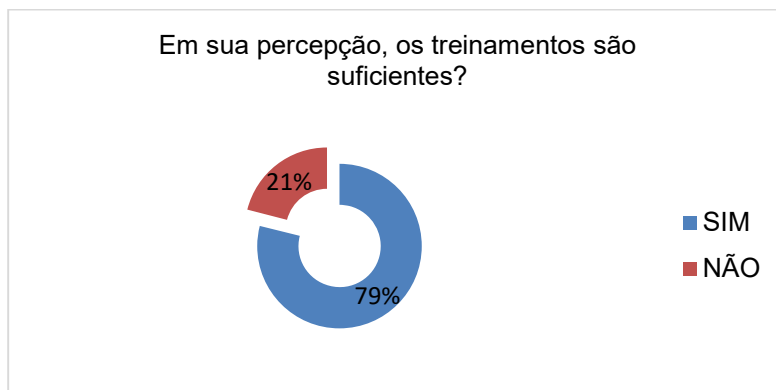


Gráfico 4: Treinamentos aplicados pela Instituição.

Fonte: INCA, julho/2020.

Em relação aos limites de dose efetiva para os IOE definidos na norma CNEN NN 3.01, todos os profissionais entrevistados responderam ter conhecimento destas limitações.

Segundo a NR 07, referente ao PCMSO (Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional), os empregadores de serviços de radioterapia são responsáveis por implantar a realização de exames periódicos de saúde ocupacional dos trabalhadores que tem por objetivo principal a prevenção, rastreamento e diagnóstico de problemas à saúde diretamente relacionada ao trabalho. (BRASIL, NR 07, c). Os exames incluem o hemograma completo e a contagem de plaquetas realizada na admissão do emprego e em intervalos semestrais. A Instituição possui uma equipe de servidores que atuam na área de saúde e segurança do trabalhador que controla e registra os exames dos servidores na periodicidade adequada estipulada pela legislação.

Durante a entrevista, os trabalhadores foram questionados sobre a realização destes exames de rotina e todos confirmaram que os realizam na rotina estabelecida na legislação e conforme requerido pela Instituição. Na pesquisa, nenhum deles declarou alteração nos resultados dos exames que estivessem relacionados às atividades do trabalho. Neste aspecto, a Instituição exige os

exames de seus empregados, pois é item indispensável que deve ser apresentado à CNEN em toda solicitação desta autorização de funcionamento da radioterapia na Instituição.

De acordo às recomendações da NR 06 o empregador deve fornecer aos trabalhadores equipamentos de proteção individual e coletiva (EPI e EPC's) visando mantê-los protegidos. (BRASIL, NR 06, b). Foi questionado aos profissionais se, durante suas atividades nos locais com incidência de radiação havia necessidade de portar os EPI's e todos afirmaram que sim. Porém, quando questionados se todos os utilizavam adequadamente e na frequência estabelecida pelas normas de segurança e saúde ocupacional, partes dos profissionais entrevistados responderam não os utilizar corretamente. Dentre os entrevistados, 21% responderam “utilizar às vezes” e 26% responderam “a maior parte das vezes”.

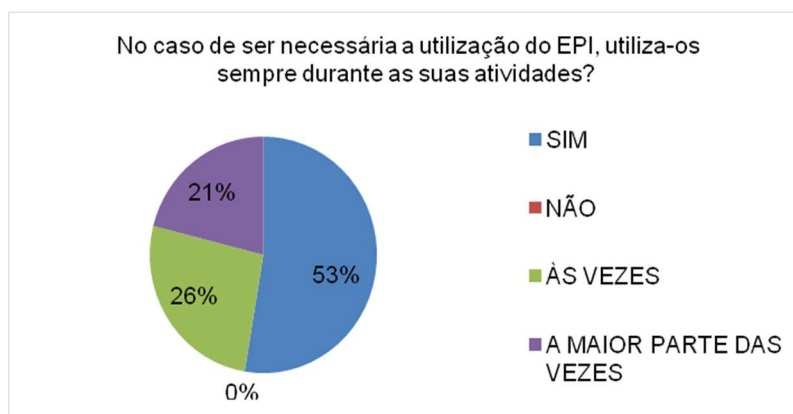


Gráfico 5: Quanto à utilização dos EPI's.

Fonte: INCA, julho/2020.

De acordo a uma parte dos entrevista dos (Gráfico 6) a Instituição não exige formalmente o uso dos equipamentos de proteção, apesar de fornecê-los gratuitamente, cabendo, neste caso, a responsabilidade individual de cada profissional em adotar este compromisso na sua rotina de trabalho.

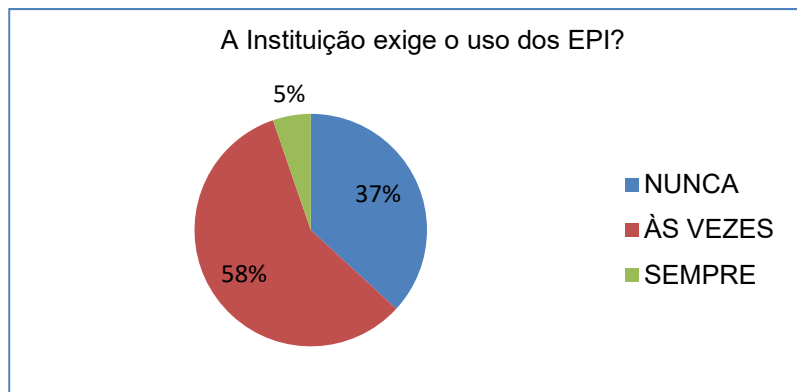


Gráfico 6: Quanto à exigência do uso do EPI.

Fonte: INCA, julho/2020.

Em relação aos seguintes EPC's (blindagens; iluminação; sinalização de emergência; meios de comunicação entre salas de tratamento operação; monitores; botões de emergência *on/off* instalados nos aparelhos de tratamento) todos os profissionais concordam que a instituição os fornece e reconhece a importância dos mesmos nas áreas que possuem exposição à radiação.

Conforme as recomendações das legislações do MS e da CNEN, os IOE devem ser continuamente monitorados quanto às doses equivalentes e efetivas recebidas durante suas atividades e operações onde possam estar sujeitos à radiação. Verificou-se na Instituição que o monitoramento individual é realizado mensalmente através dos dosímetros individuais (tipo crachás), colocado sobre o corpo, (altura do tórax), modelos tipo TLD e OSLD, fornecido pela Instituição tendo registro e controle dos dados gerenciados pela empresa Sapra Landauer Serviço de Assessoria e Proteção Radiológica. Os dados coletados são registrados e armazenados na GDOSE, IRD/CNEN. Todo o IOE tem o conhecimento das doses às quais foram submetidos durante o mês, e em casos em que estes recebem uma dose superior ou igual a 1,0 m.Sv é realizado uma investigação do motivo da referida exposição visando sanar eventual irregularidade.

Ao serem questionados se utilizavam de modo adequado os dosímetros individuais atendendo às exigências da legislação e da Instituição, quase todos os entrevistados, 90%, afirmaram que os utilizavam corretamente (Gráfico 7). Aqueles que responderam não utilizar os dosímetros alegaram esquecimento de portá-los no momento de acessar as áreas supervisionadas.

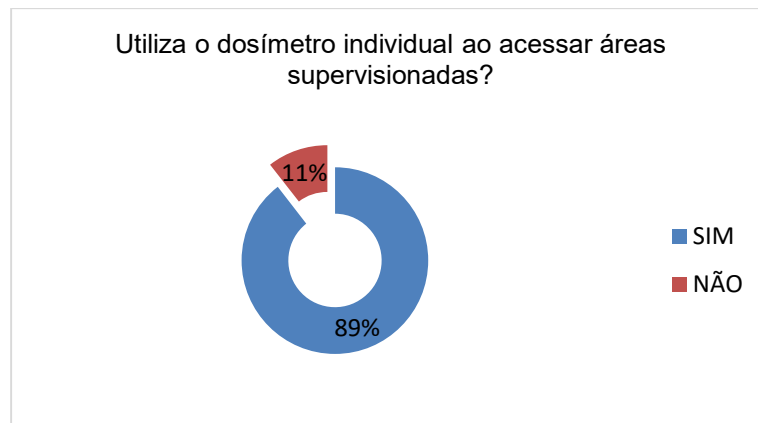


Gráfico 7: Quanto à utilização correta dos dosímetros individuais.

Fonte: INCA, julho/2020.

Os profissionais foram questionados quanto à sua percepção de segurança no ambiente de trabalho sujeito à incidência de radiação considerando os conhecimentos já obtidos sobre os riscos existentes. As respostas apontam que ao menos 37% não se sentem seguros e acreditam que deveriam ser tomadas medidas adicionais para proteção e segurança à sua saúde (Gráfico 8).

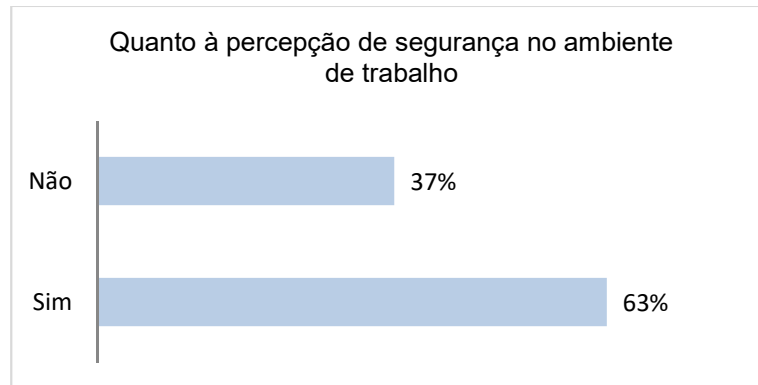


Gráfico 8: Quanto à percepção de segurança no ambiente radioativo.

Fonte: INCA, julho/2020.

Questionados como poderia ser ampliada a sua percepção em relação à segurança no ambiente de trabalho e 57% dos profissionais responderam que deveria haver a substituição dos equipamentos de teleterapia por novos e modernos aparelhos. Outras respostas incluem: aumento das horas de treinamento, melhorias no conteúdo programático dos treinamentos apresentados e ainda aumento do número de profissionais no setor (Gráfico 9).

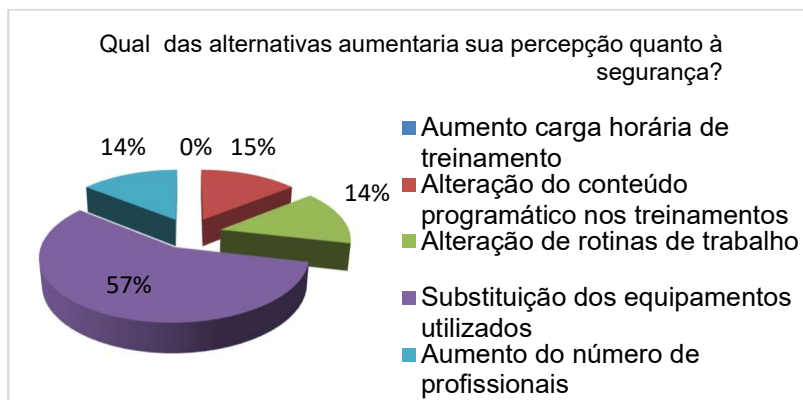


Gráfico 9: Solução para melhoria da percepção quanto à segurança.

Fonte: INCA, julho/2020.

Em relação ao conhecimento da existência do documento PPR do setor de radioterapia, todos os profissionais entrevistados confirmaram conhecer o documento, a sua finalidade e a importância deste em relação à radioproteção em seu local de trabalho.

Durante a entrevista foi questionado a um dos profissionais responsáveis pela Divisão de Saúde e Segurança do Trabalhador se na Instituição já estava implantado o PPRA conforme exigido pela NR 09. A resposta obtida foi que já havia sido implantado o PPRA, porém a documentação ainda estava em fase de atualização. Informou ainda que a legislação existente quanto à radioproteção e segurança dos trabalhadores está sendo cumprida integralmente em todo o setor de radioterapia de acordo às exigências da CNEN e ANVISA.

7.2.2

Dados referentes aos atendimentos às normas técnicas

Durante o estudo de campo foram verificadas várias evidências e registros do cumprimento das legislações existentes quanto à proteção radiológica no ambiente de trabalho. As mais relevantes e consideradas críticas pelo autor foram compiladas e seguem descritas na Tabelas 18 a 21.

Tabela 18: Atendimento aos itens da Norma CNEN NN 3.01.

ITEM	DESCRIÇÃO	REGISTRO/EVIDÊNCIA	STATUS
5.3.2	<p>“Os titulares são os responsáveis” por estabelecer e programar as medidas técnicas e organizacionais necessárias para garantir a segurança das fontes sob sua responsabilidade e a proteção radiológica em exposições ocupacionais, exposições médicas e exposições do público.</p> <p>...</p> <p>5.3.4 Os titulares devem manter uma estrutura de proteção radiológica dimensionada de acordo com o porte da instalação, conforme estabelecido pela CNEN.</p> <p>5.3.4.1 “Esta estrutura deve contar com, pelo menos, um indivíduo habilitado pela CNEN como supervisor de proteção radiológica.”</p>	<p>Foi verificado a documentação emitida pela CNEN autorizando a operação de atividades de Radioterapia nas instalações do HC 1 do INCA. (Documento CNEN/2020SCRA0190).</p> <p>Foi verificada a cópia do PPR aprovado pela CNEN.</p> <p>Foi verificado que o profissional que atua como supervisor de proteção radiológica está autorizado e habilitado pelo CNEN.</p>	Atende
5.3.1	<p>“Toda pessoa física ou jurídica com a intenção de realizar qualquer ação relacionada a práticas ou fontes associadas a essas práticas deve submeter requerimento à CNEN para obtenção das licenças, autorizações ou quaisquer outros atos administrativos pertinentes, de acordo com normas aplicáveis da CNEN.”</p>	<p>Foi verificado a documentação emitida pela CNEN autorizando a operação de atividades de Radioterapia nas instalações do HC 1 do INCA (Apêndice 02).</p>	Atende
5.3.8	<p>“O titular deve submeter à aprovação da CNEN um PPR (Plano de Proteção Radiológica), contendo”...:</p> <p>l) descrição do controle médico de IOE, incluindo planejamento médico em caso de acidentes;</p> <p>m) programas de treinamento específicos para IOE e demais funcionários, eventualmente;</p> <p>n) níveis operacionais e demais restrições adotadas;</p> <p>o) descrição dos tipos de acidentes previsíveis, incluindo o sistema de detecção dos mesmos, destacando os mais prováveis e os de maior porte;</p> <p>p) planejamento de resposta em situações de emergência, até o completo restabelecimento da situação normal;</p> <p>q) regulamento interno e instruções gerais a serem fornecidos por escrito aos IOE e demais trabalhadores, visando a execução segura de suas atividades</p>	<p>Foi verificada a cópia do PPR aprovado pela CNEN.</p>	Atende
5.4.1	Justificação	A função do INCA justifica a aplicação da	Atende

	5.4.1 As exposições médicas de pacientes devem ser justificadas, ponderando-se os benefícios diagnósticos ou terapêuticos que elas venham a produzir em relação ao detrimento correspondente, levando-se em conta os riscos e benefícios de técnicas alternativas disponíveis, que não envolvam exposição.	prática de radioterapia. O INCA é o órgão auxiliar do Ministério da Saúde no desenvolvimento e coordenação das ações integradas para a prevenção e o controle do câncer no Brasil. Tais ações compreendem a assistência médico-hospitalar, prestada direta e gratuitamente aos pacientes com câncer como parte dos serviços oferecidos pelo Sistema Único de Saúde.	
5.4.2	“Limitação de dose individual” A exposição normal dos indivíduos deve ser restringida de tal modo que nem a dose efetiva nem a dose equivalente nos órgãos ou tecidos de interesse, causadas pela possível combinação de exposições originadas por práticas autorizadas, excedam o limite de dose especificado na tabela ...”	Ao autor foi informado quanto a existência de empresa terceirizada (Sapra Landauer Serviço de Assessoria e Proteção Radiológica Ltda) contratada pelo INCA e responsável pela prestação dos serviços de monitoração de área e da dose absorvida por IOE expostos a radiações ionizantes em seus locais de trabalho. Esse monitoramento é realizado em ciclos mensais, por meio do uso de monitores de tórax, portados como um crachá, uso de monitores de extremidade, em forma de anel ou pulseira.	Atende parcialmente (alguns funcionários não utilizam o cartão de monitoramento de modo adequado)
5.7.5	Os IOE devem: a) seguir as regras e procedimentos aplicáveis à segurança e proteção radiológicas especificadas pelos empregadores e titulares, incluindo participação em treinamentos relativos à segurança e proteção radiológica que os capacite a conduzir seu trabalho de acordo com os requisitos desta Norma;	Foi verificada a cópia do PPR aprovada pela CNEN contendo um programa de treinamento específico para os IOE. O Autor identificou, durante a visita no local em estudo, vários registros de treinamento para os IOE incluindo listas de presenças, registros de palestras, fotografias, etc.	Atende
5.8.1	“Para fins de gerenciamento da proteção radiológica, os titulares devem classificar as áreas de trabalho com radiação ou material radioativo em áreas controladas, áreas supervisionadas ou áreas livres, conforme apropriado.”	As áreas onde há incidência de radiação ionizante são monitoradas/supervisionadas/identificadas e possuem controle rigoroso de acesso.	Atende
5.8.4	As áreas controladas devem estar sinalizadas com o símbolo internacional de radiação ionizante, acompanhando um texto descrevendo o tipo de material, equipamento ou uso relacionado à radiação ionizante. (Figura 28)	As áreas onde há incidência de radiação ionizante estão identificadas pelo símbolo internacional de radiação ionizante (Figuras 18, 23, 30, 31).	Atende
5.10	“Os titulares e empregadores devem implantar um programa de saúde ocupacional, para avaliação inicial e periódica da aptidão do IOE, baseado nos princípios gerais de saúde ocupacional, tendo como referência o Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional”	Apesar de todas as rigorosas medidas de controles elaboradas pela Instituição ainda não está implementado o PPRA vinculado às práticas de radioterapia, todavia, a CNEN autorizou o funcionamento das práticas de radioterapia na Instituição.	Atende parcialmente

Quanto a autorização para funcionamento, atendimento a pacientes e prática de Radioterapia	Evidenciado através do documento emitido pela CNEN autorizando o funcionamento. (Apêndice 02).	Atende
--	--	--------

Fonte: INCA.

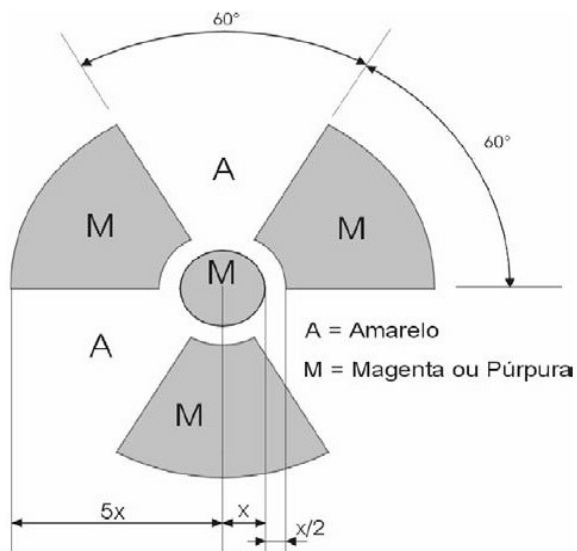


Figura28: Símbolo internacional de radiação ionizante.

Fonte: Norma CNEN (a).

Tabela 19: Quanto ao atendimento à Norma CNEN NN 6.10.

ITEM	DESCRIÇÃO	REGISTRO/EVIDÊNCIA	STATUS
Capítulo I - Seção IV	<p>Art. 12 Ao final da construção, o titular do Serviço de Radioterapia deve requerer à CNEN a Autorização para Operação por meio do documento SCRA descrito no Anexo III da Norma CNEN NN 6.02 Licenciamento de Instalações Radiativas e acompanhado do Relatório Final de Análise de Segurança da instalação, contendo o projeto da instalação e o Plano de Proteção Radiológica.</p> <p>Art. 13 A concessão da Autorização para Operação será orientada com base nos seguintes requisitos:</p> <p>I - Realização de uma inspeção de conformidade por inspetores da CNEN; e</p> <p>II - estar o Serviço de Radioterapia tecnicamente qualificado para conduzir a operação solicitada, de acordo com as disposições legais, regulamentares e normativas.</p>	Foi verificado a documentação emitida pela CNEN autorizando a prática de atividades de Radioterapia nas instalações do HC 1 do INCA. (Apêndice 02).	Atende

	<p>Parágrafo único. A Autorização para Operação será concedida a um Serviço de Radioterapia, considerando o inventário de fontes de radiação a serem usadas na instalação e as técnicas de tratamento praticadas.</p>		
<p>Capítulo II - Seção III</p>	<p>Art. 18: O supervisor de proteção radiológica na área específica de Radioterapia de um Serviço de Radioterapia e seu substituto devem ser profissionais igualmente certificados de acordo com a Norma CNEN NN 7.01 Certificação da Qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica para atuar em radioterapia”</p> <p>Art. 19: O supervisor de proteção radiológica somente pode assumir a responsabilidade por um único Serviço de Radioterapia.</p> <p>Art. 21 O supervisor de proteção radiológica deve analisar os resultados de controles e monitorações individuais e de área, de medidas de segurança e proteção radiológica, calibração de instrumentos de medição de proteção radiológica e providenciar as devidas correções e/ou reparos.</p>	<p>Foi apresentado ao autor o PPR onde consta a nomeação do supervisor de proteção radiológica.</p> <p>O supervisor é o responsável por um único serviço de radioterapia, conforme disposto em Diário Oficial e no PPR.</p>	Atende
<p>Capítulo II - Seção V</p>	<p>Art. 25: os Indivíduos Ocupacionalmente Expostos, cuja definição consta na Norma CNEN-NN-3.01, de um Serviço de Radioterapia devem:</p> <p>I - executar suas atividades em conformidade com os requisitos e exigências dos regulamentos de proteção radiológica estabelecidos pelo titular do Serviço de Radioterapia;</p> <p>II - conhecer e aplicar as regras de segurança e proteção radiológica em conformidade com a legislação vigente e as instruções do supervisor de proteção radiológica;</p> <p>III - aplicar ações apropriadas para assegurar a proteção e segurança dos pacientes;</p> <p>IV - participar dos programas de treinamento oferecidos pelo Serviço de Radioterapia;</p> <p>V - participar das atividades de garantia da qualidade em radioterapia;</p> <p>VI - informar ao supervisor de proteção radiológica qualquer evento que possa influir nos níveis de exposição ou do risco de ocorrência de acidente; e</p> <p>VII - notificar o titular, o responsável técnico e o supervisor de proteção radiológica em radioterapia sobre todos os itens que não estejam de acordo com as normas e Resoluções da CNEN.</p>	<p>Foi verificada a cópia do PPR aprovado pela CNEN, além das fichas de treinamentos dos técnicos envolvidos na prática de radioterapia. Não foi identificado nenhum evento/acidente adverso que pudesse influenciar no aumento de radiação.</p>	Atende

<p>Capítulo IV – Seção II</p>	<p>Art. 41 As salas de tratamento devem possuir:</p> <p>I - sinalização luminosa fora da sala, com luz vermelha indicando que o feixe de radiação está ligado ou que a fonte de radiação está exposta, e luz verde indicando que o feixe encontra-se desligado, ou que a fonte de radiação está recolhida em sua blindagem;</p> <p>II - dispositivos eletrônicos que possibilitem a observação dos pacientes em condições de tratamento a partir da sala de comando;</p> <p>III - dispositivo que possibilite a comunicação oral com o paciente durante o tratamento a partir da sala de comando;</p> <p>IV - dispositivo identificado que possibilite a abertura da porta da sala de tratamento pelo lado interno da sala;</p> <p>V - Dispositivos que possibilitem a abertura da porta da sala, pelo lado externo, no caso de suspensão da energia elétrica; e</p> <p>VI - dispositivos que possibilitem a iluminação interna da sala de tratamento em caso de suspensão da energia elétrica durante o tempo máximo necessário para retirada de pacientes da sala.</p> <p>Art. 42 As salas de tratamento devem possuir sistemas de segurança com defesa em profundidade, redundância e independência, contando com, no mínimo, os dispositivos abaixo relacionados:</p> <p>I - Botões de emergência localizados no painel de controle e, internamente à sala, em sua entrada e, pelo menos, em uma das paredes próximas à fonte de radiação; e</p> <p>II - intertravamentos nas portas das salas de tratamento que interrompam a irradiação quando as portas forem abertas.</p>	<p>O local visitado possui as instalações adequadas e atende ao Art. 41.</p>	<p>Atende</p>
<p>Capítulo V</p>	<p>Art. 71 O Serviço de Proteção Radiológica deve manter os seguintes registros arquivados e disponibilizados para consulta pelos indivíduos ocupacionalmente expostos e para os inspetores da CNEN:</p> <p>I - projetos e/ou modificações em instalações, incluindo o cálculo e as especificações das blindagens;</p> <p>II - Plano de Proteção Radiológica aprovado pela CNEN;</p> <p>III - programas de treinamento com ementa, carga horária, nome dos instrutores e registro de</p>	<p>Foram evidenciados ao autor vários registros elaborados pelo serviço de proteção radiológico sendo estes armazenados no Sistema Eletrônico de Informações da Instituição. Foi identificado alguns registros pendentes, conforme detalhado nos parágrafos abaixo.</p>	<p>Atende parcialmente</p>

<p>frequência dos indivíduos ocupacionalmente expostos;</p> <p>IV - Atestado de Saúde Ocupacional de cada indivíduo ocupacionalmente exposto;</p> <p>V - resultados de controles e monitorações individuais e de área;</p> <p>VI - ocorrências radiológicas;</p> <p>VII - certificados de calibração de sistemas e instrumentos de medição;</p> <p>VIII - resultados de aferição e reparos de instrumentos de medição;</p> <p>IX - resultados do programa de garantia da qualidade em radioterapia realizado no Serviço de Radioterapia;</p> <p>X - Manutenção e movimentações de fontes de radiação; e</p> <p>XI - gerência de rejeitos radioativos.</p> <p>Parágrafo único. Os registros devem ser realizados em mídia compatível com a tecnologia existente, com a garantia de cópia de segurança independente.</p>		
--	--	--

Fonte: INCA.

Tabela 20: Quanto ao atendimento à norma NR 32 da ANVISA.

ITEM	DESCRIÇÃO DA NORMA	REGISTRO/EVIDÊNCIA	STATUS
32.4.2	É obrigatório manter no local de trabalho e à disposição da inspeção do trabalho o PPR, aprovado pela CNEN.	Todos os servidores e profissionais do setor de radioterapia têm acesso ao PPR disponível no sistema de informação eletrônico e no servidor da Instituição.	Atende
32.4.2.1	<p>O PPR deve:</p> <p>a) estar dentro do prazo de vigência;</p> <p>b) identificar o profissional responsável e seu substituto eventual como membros efetivos da equipe de trabalho do serviço;</p> <p>c) fazer parte do PPRA do estabelecimento;</p> <p>d) ser considerado na elaboração e implementação do PCMSO;</p> <p>e) ser apresentado na CIPA, quando existente na empresa, sendo sua cópia anexada às atas desta comissão.</p>	O PPR apresentado está no prazo de vigência e a prática dos serviços de radioterapia autorizada pela CNEN. No entanto, apesar de atenderem as NR 07 e NR 09 quanto ao PPRA e PCMSO respectivamente, esta documentação ainda não está oficialmente estabelecida na Instituição.	Atende parcialmente
32.4.4	Toda trabalhadora com gravidez confirmada deve ser afastada das atividades com radiações ionizantes, devendo ser remanejada para atividade compatível com seu nível de formação.	Não foi evidenciada nenhuma trabalhadora nestas condições. Todavia, há sinalização adequada restringindo o acesso as gestantes nas áreas controladas e monitoradas (Figura 31).	Atende

32.4.5	<p>Toda instalação radiativa deve dispor de monitoração individual e de áreas.</p> <p>32.4.5.1 Os dosímetros individuais devem ser obtidos, calibrados e avaliados exclusivamente em laboratórios de monitoração individuais acreditadas pela CNEN.</p> <p>32.4.5.2 A monitoração individual externa, de corpo inteiro ou de extremidades, deve ser feita através de dosimetria com periodicidade mensal e levando-se em conta a natureza e a intensidade das exposições normais e potenciais previstas.</p>	<p>A empresa terceirizada Sapra Landauer Serviço de Assessoria e Proteção Radiológica Ltda contratada pelo INCA é responsável pela prestação dos serviços de monitoração de área e da dose absorvida por IOE. Há diversas medidas definidas no PPR que são tomadas em casos de excesso de radiações identificadas nos medidores.</p>	Atende
32.4.5.4	<p>Após ocorrência ou suspeita de exposição acidental a fontes seladas, devem ser adotados procedimentos adicionais de monitoração individual, avaliação clínica e a realização de exames complementares, incluindo a dosimetria citogenética, a critério médico.</p>	<p>Não há registros de exposição acidental. Caso essa situação ocorra, o PPR contém as instruções referente as medidas de segurança.</p>	Atende
32.4.9	<p>Toda instalação radiativa deve possuir um serviço de proteção radiológica.</p>	<p>Foi apresentada ao autor a formalização da implantação do serviço de proteção radiológica existente na Instituição.</p>	Atende
32.4.11	<p>As áreas da instalação radiativa devem ser classificadas e ter controle de acesso definido pelo responsável pela proteção radiológica.</p>	<p>Todas as salas onde há tratamento por radioterapia com equipamentos do tipo acelerador linear ou irradiador são classificadas como áreas controladas possuem barreiras de acesso (portas de aço blindadas) e sinalização adequada.</p>	Atende
32.4.12	<p>As áreas da instalação radiativa devem estar devidamente sinalizadas em conformidade com a legislação em vigor, em especial quanto aos seguintes aspectos:</p> <p>a) utilização do símbolo internacional de presença (Figura 28) de radiação nos acessos controlados;</p> <p>b) as fontes presentes nestas áreas e seus rejeitos devem ter as suas embalagens, recipientes ou blindagens identificadas em relação ao tipo de elemento radioativo, atividade e tipo de emissão;</p> <p>c) valores das taxas de dose e datas de medição em pontos de referências significativas, próximos às fontes de radiação, nos locais de permanência e de trânsito dos trabalhadores, em conformidade com o disposto no PPR; d) identificação de vias de circulação, entrada e saída para condições normais de trabalho e para situações de emergência;</p> <p>e) localização dos equipamentos de segurança;</p>	<p>Foram verificadas várias evidências quanto ao atendimento deste item da Norma durante a visita nas instalações (Figuras 18, 23, 30, 31).</p>	Atende
32.4.14.1	<p>Os Serviços de Radioterapia devem adotar, no mínimo, os seguintes dispositivos de segurança:</p> <p>a) salas de tratamento possuindo portas com sistema de intertravamento, que previnam o acesso</p>	<p>Este item da norma é atendido conforme as Figuras 23, 29, 30 e 31.</p>	Atende

<p>indevido de pessoas durante a operação do equipamento;</p> <p>b) indicadores luminosos de equipamento em operação, localizados na sala de tratamento e em seu acesso externo, em posição visível.</p>		
--	--	--

Fonte: Autor

Tabela 21: Quanto ao atendimento à RDC nº 20/2006 da ANVISA.

ITEM	DESCRIÇÃO DA NORMA	REGISTRO/EVIDÊNCIA	STATUS
2	<p>Todo serviço de radioterapia deve estar licenciado pela autoridade sanitária local do Estado, Distrito Federal ou Município, atendendo aos requisitos deste Regulamento e demais legislações vigentes.</p>	<p>Foi confirmada ao autor a existência da regularidade perante a ANVISA e, portanto, liberado para o funcionamento dos serviços de radioterapia.</p>	Atende
5.1.5	<p>O Titular do serviço de radioterapia deve designar, mediante documentação formal, o Responsável Técnico e seu substituto e o Supervisor de Proteção Radiológica e seu substituto.</p>	<p>Foi apresentado ao autor o PPR que também cumpre as exigências desta RDC.</p>	Atende
5.1.8	<p>Todo serviço de radioterapia, público ou privado, deve estar inscrito no Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde do Ministério da Saúde - CNES/MS.</p>	<p>Em consulta ao site da cnen.gov.br é possível encontrar a autorização para o funcionamento dos serviços de radioterapia da Instituição em estudo (Apêndice 02).</p>	Atende
5.2.3	<p>O serviço de radioterapia deve dispor de uma equipe assistencial, presente no local, qualificada e capacitada, e em número suficiente para a prestação da assistência a que se propõe</p> <p>A equipe mínima deve ser composta por:</p> <p>a) 01 Supervisor de Proteção Radiológica;</p> <p>b) Médicos Radioterapeuta em quantitativo correspondente a três horas trabalhadas para cada paciente novo tratado, computados no intervalo de 1 (um) ano</p> <p>c) Especialista em Física Médica de Radioterapia em quantitativo correspondente a três horas trabalhadas para cada paciente novo tratado, computados no intervalo de 1 (um) ano</p> <p>d) Técnicos em quantitativo correspondente a 10 (dez) horas trabalhadas para cada 50 (cinquenta) pacientes tratados ou simuladas ao dia</p>	<p>Conforme consta no PPR, e já relatados anteriormente, a Instituição atende a este item da RDC de modo adequado.</p> <p>A equipe de profissionais que atende no local em estudo está dentro dos parâmetros de formação e de carga horária de trabalho exigida pela legislação.</p>	Atende
5.3.5	<p>Compete ao Supervisor de Proteção Radiológica em Física Médica de Radioterapia:</p> <p>a) assessorar o Titular do serviço de radioterapia e o Responsável Técnico sobre todos os assuntos relativos à segurança e proteção radiológica;</p>	<p>Conforme consta no PPR, e já relatados anteriormente, a Instituição atende a este item da RDC de modo adequado.</p>	Atende

	<p>b) elaborar, implementar e revisar o Plano de Proteção Radiológica com a frequência nele estabelecida, para garantir que as fontes e equipamentos emissores de radiações ionizantes sejam utilizados de forma segura de acordo com as normas de segurança e proteção radiológica vigente e as restrições estabelecidas na Autorização para Operação concedida pela CNEN;</p> <p>c) calcular as blindagens de salas dos equipamentos de radioterapia;</p> <p>d) elaborar, implementar e supervisionar o programa de monitoração individual e de área, e manutenção dos registros gerados;</p> <p>e) identificar as condições que possam apresentar exposições potenciais;</p> <p>f) elaborar, supervisionar, participar e revisar os programas de treinamento periódico em proteção radiológica dos profissionais do serviço;</p> <p>g) realizar os simulados do plano de emergência; e</p> <p>h) notificar o Titular de todos os pontos que não estejam de acordo com o Plano de Proteção Radiológica.</p>		
5.4.1	A infraestrutura física dos serviços de radioterapia deve atender à RDC nº 50, de 21 de fevereiro de 2002 e Normas da CNEN.	Conforme as Figuras 23, 29, 30, referente à blindagem (paredes de concreto) e portas de acesso, respectivamente, a Instituição segue as recomendações da RDC nº 20/2006 e da RDC nº 50/2002 sobre as instalações físicas, quanto à blindagem, iluminação, sinalização, climatização e barreiras de acesso.	Atende
	Quanto à autorização para funcionamento, atendimento a pacientes e prática de Radioterapia	Evidenciado através do documento emitido pela ANVISA, verificado no local, autorizando o funcionamento dos serviços de radioterapia.	Atende

Fonte: Autor.

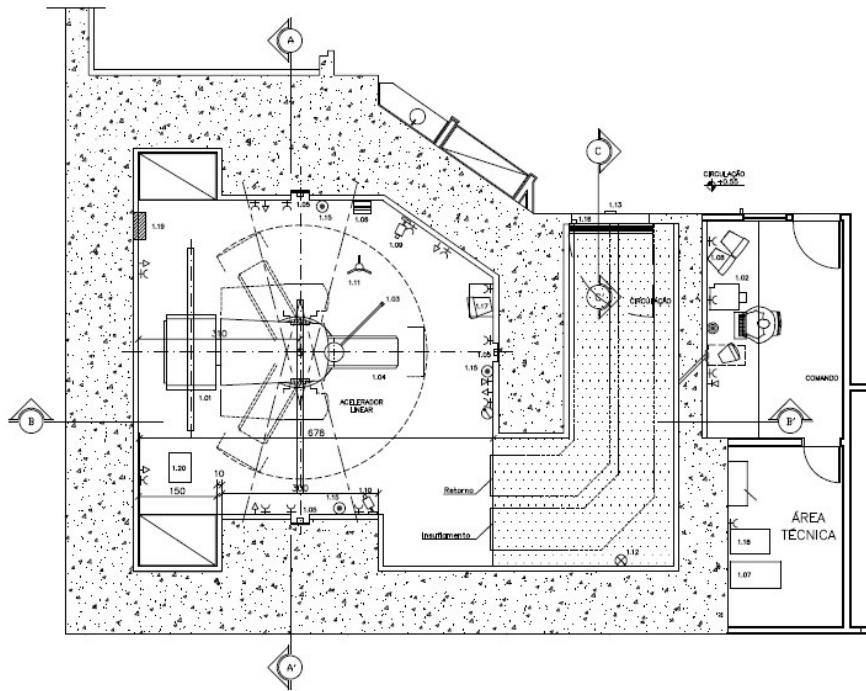


Figura 29: Planta baixa típica para instalação de acelerador linear.

Fonte: INCA.



Figura 30: Símbolo da radiação em porta blindada.

Fonte: Autor.



Figura31: Porta sala de tomografia – sinalização gestante.

Fonte: Autor.

7.2.3 Informações complementares obtidas no estudo

Verificou-se que nas instalações há diversos procedimentos e cuidados para a avaliação e monitoramento quanto à incidência de radiação ionizante nas áreas de instalações dos equipamentos e nos locais onde há presença de materiais radioativos.

A cada dois anos é realizado um levantamento radiométrico rigoroso do ambiente com eletrômetro quando há qualquer modificação no equipamento utilizado no tratamento, na carga de trabalho, no fator de ocupação, ou nas condições de operação e de blindagem que possam alterar significativamente os níveis de radiação. Os equipamentos utilizados são calibrados no Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes (LNMRI/IRD) conforme definido pela Norma CNEN NN 6.10 (CNEN, 2017, b).

Em relação à segurança nas áreas dos equipamentos que utilizam fonte radiativa, foi informado que a troca da fonte de ^{60}Co é realizada pelo próprio pessoal técnico da *Theratronics*, atualmente representada no Brasil pela REM Indústria e Comércio Ltda. A antiga fonte é inserida em um cofre de aço, tipo container e reenviada ao seu país de origem. A troca da fonte é realizada com

periodicidade aproximada de 10 anos e durante esta atividade é feito a manutenção preventiva do sistema pneumático de posicionamento da fonte e nos demais componentes eletrônicos do equipamento visando o seu uso seguro para os próximos anos.

Verificou-se que na Instituição há uma gerência dos rejeitos radioativos com procedimento documentos e responsabilidades bem definidos, e que, inclusive, consta o detalhamento no PPR. Cita-se, como exemplo, a gestão da fonte de ^{192}Ir , utilizada em braquiterapia, que, após o término de sua vida útil é feito sua substituição por equipe técnica especializada pertencente a empresa *Varian Medical System*. A fonte antiga é etiquetada, armazenada em container de aço e posteriormente enviada para o país de origem (Bélgica). No intervalo entre a troca da fonte e a sua reexportação, a fonte é armazenada em uma sala técnica exclusiva para rejeitos radioativos, devidamente sinalizados com símbolo internacional de radiação e com único acesso através da Sala de Planejamento.

Nos casos de reexportação e de importação de fontes radioativas, o processo de transporte entre o Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro e o Instituto Nacional de Câncer é realizado também através de empresa especializada, credenciada e autorizada pela CNEN para tais atividades.

Durante a coleta de dados também foi informado por um dos responsáveis pela supervisão radiológica que alguns requisitos normativos estabelecidos pela CNEN não estavam sendo cumpridos integralmente pela Instituição. Devido a isso, reduziram-se o prazo de Autorização para Operação na Instituição de 02 para 01 ano até o completo ajuste das irregularidades (foi definido dezembro/2020 o limite máximo para atendimento às irregularidades). As condicionantes apontadas pela fiscalização da CNEN que deveriam ser regularizadas para a retomada da Autorização para Operação no prazo normal incluíam:

1. Apresentação de certificado de calibração do conjunto dosimétrico (eletrômetro e câmara PTW), exigência da norma CNEN NN 6.10;
2. Apresentação de certificado de calibração de monitor de área, exigências da norma CNEN NN 6.10;
3. Apresentação de certificado de calibração de câmara de ionização, tipo poço, realizada por laboratório cadastrado junto ao CNEN;

4. Comprovação de disponibilidade no serviço das plantas baixas arquitetônicas impressas e das memórias de cálculos de blindagens das salas de tratamento (Norma CNEN NN 6.10, Art. 71, Inciso I);
5. Apresentação de relatório detalhado contendo informações descrevendo as possíveis causas da exposição de funcionário a uma dose efetiva de 8,90 m.Sv, superior ao permitido por norma, conforme o laudo de dosimetria apresentado pela empresa Sapra Landauer Ltda.

As não conformidades acima já estavam sendo sanadas pela equipe de radioterapia da Instituição a fim de garantir o funcionamento ininterrupto e integral das atividades.

7.3

Discussão dos Resultados

Analisando o conjunto de informações obtidas, verifica-se que a legislação brasileira, em termos de radioproteção na saúde ocupacional é extensa, rigorosa e ampara-se nas diretrizes internacionais conduzidas pela ONU e OMS.

Conforme a verificação das principais legislações, evidenciadas nas tabelas 18 a 20, afirma-se que o INCA HC 1 atende a praticamente todos requisitos analisados favorecendo a segurança dos pacientes, profissionais e meio ambiente.

No estudo notam-se os cuidados da Instituição em atender as normas de saúde e segurança relacionadas à radioproteção que incluem: manter os equipamentos emissores de radiação em condições seguras e eficientes para utilização; emprego de profissionais capacitados, treinados e na quantidade requerida para assistência adequada aos pacientes; manutenção das condições das instalações físicas dos ambientes sujeitos à radiação (blindagens, controles de acesso, EPC's, sinalização, etc) e procedimentos de segurança bem definidos no PPR visando à prevenção de acidentes.

Verifica-se que a Instituição faz o acompanhamento contínuo das doses recebidas por seus IOE, e, nos casos onde há excessos de ocorrências radiológicas, dá início a processos investigativos para identificar as razões, conter e sanar as irregularidades. Verifica-se que o planejamento dos tratamentos aplicados aos pacientes é executado sempre de modo a reduzir tão razoavelmente quanto exequível a dose equivalente efetiva no paciente reduzindo, desta forma,

reduzindo a incidência de radiação ionizante nos profissionais envolvidos nos procedimentos. A Instituição mantém um Programa de Qualidade em Radioterapia (PQRT) visando à implantação e a implementação de medidas de controle e garantia da qualidade, para que cada serviço, de acordo ao seu estágio tecnológico, proporcione a aplicação da terapia com a melhor eficiência e eficácia possível.

Conforme os relatos dos profissionais entrevistados certas condições poderiam ser ajustadas pela Instituição. Entre elas incluem: exigências para que os profissionais utilizem os EPI's de forma adequada; utilização dos dosímetros individuais corretamente; ajustes nas quantidades de horas de treinamento em radioproteção.

Ao adotar estes ajustes, a Instituição protegeria ainda mais o usuário de modo geral minimizando os riscos aos seus trabalhadores e o público em geral. Apesar disso, ainda que eventuais falhas sejam corrigidas o risco de enfermidade ocorrer nos IOE não é descartado, pois, os estudos apontam que mesmo havendo medidas de contingenciamento e precaução à radiação, existe a possibilidade destas ocorrências.

8.

Conclusão

Esta dissertação originou-se através da análise do conjunto de dados recolhidos no setor de radioterapia do Hospital do Câncer 1, pertencente ao Instituto Nacional do Câncer e das legislações existentes quanto aos cuidados com a radiação ionizante. Após a análise da documentação disponibilizada, a verificação *in loco* do cumprimento de diversos aspectos técnicos sobre radioproteção e, ainda, considerando o resultado da pesquisa realizada no setor estudado, conclui-se que o INCA, em sua unidade HC 1, atende às legislações quanto a radioproteção no ambiente ocupacional.

Um dos objetivos da proteção radiológica é evitar o uso desnecessário da radiação ionizante, justificando adequadamente os procedimentos realizados. Conforme exposto, considerando os princípios da radioproteção, a exposição à radiação deve produzir sempre um benefício suficientemente elevado para compensar o dano que aplicação da própria radiação possa causar no indivíduo. Neste sentido, a unidade em estudo atende às medidas de segurança aos profissionais conforme requerida pela CNEN, ainda que não possua, até o momento, em pleno funcionamento e implementado o PPRA no setor de radioterapia incorrendo em uma não conformidade perante a legislação.

Os empregadores dos IOE são responsáveis pela radioproteção e assim devem manter o programa de treinamento adequado aos envolvidos contendo as informações, recomendações e práticas adequadas à realidade da Instituição considerando as cumprir toda a legislação para que se tenham práticas seguras de administração e manipulação da radiação ionizante. Neste aspecto, o estudo evidenciou claramente o adequado desempenho e comprometimento do titular responsável pelo serviço de radioterapia no INCA somado ao responsável pela PR na Instituição.

De modo geral, sugere-se qualificar os recursos humanos para contribuir com a qualidade dos serviços e insistir na capacitação dos profissionais envolvidos quanto aos riscos da radiação dentro de sua área de atuação profissional. Ainda sugere-se aprimorar o controle de qualidade dos equipamentos, dos instrumentos periféricos e acessórios utilizados na radioterapia

devendo manter o contínuo programa de manutenção reduzindo a exposição às radiações e minimizando os riscos aos pacientes, trabalhadores e meio ambiente.

É importante salientar que alguns aspectos do risco à exposição fogem do controle da Instituição, considerando que, conforme apontou o resultado da pesquisa com os trabalhadores, alguns aparentaram não zelar de modo suficiente quanto às suas obrigações no atendimento às normas de segurança. Agravos na saúde seriam evitados se houvesse um compromisso contínuo no atendimento as diretrizes regulares existentes. Certamente os riscos à enfermidade seriam menores em probabilidades e não em certezas.

Neste caso, cabe a Instituição dar continuidade no atendimento às legislações existentes, controlando e registrando as evidências de toda aplicação realizada nos diversos setores das unidades de tratamento. Por outro lado, é também dever do profissional atentar para estas exigências considerando que a gravidade do ambiente radioativo excede qualquer justificativa que resulte em negligência a cumprimento das legislações.

9.

Referências Bibliográficas

AZEVEDO, A.C.P. **Radioproteção em serviços da saúde**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2010.

BERDAKY, F. M. CALDAS, V.E. L. **Implantação de um Programa de Controle de Qualidade de um Acelerador Linear de 6Mev de Fótons**. Artigo. Revista Radiologia Brasileira 2001. Volume 34: páginas 281–284. São Paulo. Brasil. Disponível em <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-39842001000500007&lang=en> Acesso em: 29 set. 2020.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria nº 3.214, de 8 de junho de 1988. Dispõe sobre as normas relativas à Segurança e Medicina do Trabalho.

_____ (a) **NR 04 - Constituição do SESMT – Saúde Especializada da Saúde Medicina do Trabalho;**

_____ (b) **NR 06 - Uso do EPI – Equipamentos de Proteção Individual;**

_____ (c) **NR 07 – PCMSO - Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional;**

_____ (d) **NR 09 - PPRA - Programa de Prevenção de Riscos Ambientais;**

_____ (e) **NR 15 - Atividades e operações insalubres;**

_____ (f) **NR 16 - Atividades e operações perigosas;**

_____ (g) **NR 32 - Segurança e saúde no trabalho em serviços de saúde.**

BRASIL (h). Ministério da Saúde. ANVISA. Resolução da Diretoria Colegiada, **RDC nº 50**, de 21 de fevereiro de 2002. Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde.

BRASIL (i). Ministério da Saúde. ANVISA. Resolução da Diretoria Colegiada, **RDC nº 20**, de 2 de fevereiro de 2006. Regulamento Técnico para o funcionamento de serviços de radioterapia visando à defesa da saúde dos pacientes, dos profissionais envolvidos e do público em geral.

BRASIL (j). Ministério da Saúde. Instituto Nacional de Câncer - INCA. **Blindagem em radioterapia: técnica e normas**. Rio de Janeiro: INCA, 2000.

BRASIL (k). Ministério da Saúde. Instituto Nacional de Câncer - INCA. **Atualização para técnicos em radioterapia**. Rio de Janeiro: INCA, 2010.

BRASIL (l). Ministério da Saúde. Portaria nº1339, de 18 de novembro de 1999. **Institui a Lista de Doenças relacionadas ao Trabalho**.

BRASIL (m). Ministério da Saúde. **Relatório Censo em Radioterapia**. 1ª Edição. Brasília 2019. Disponível em <<https://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2019/julho/26/pape-r-radioterapia-ALT3.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

BREVIGLIERO, E. POSSEBON, J. SPINELLI, R. **Higiene Ocupacional. Agentes biológicos, químicos e físicos.** Ed. SENAC. São Paulo. 5ª Edição. 2010.

CAMPOS, T. L. **Estudo dos Efeitos da Heterogeneidade de Pulmão na Avaliação da Dose Absorvida em Radioterapia.** Dissertação (Mestrado). Rio de Janeiro, RJ. 2006. CNEN/IRD. Disponível em <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/39/036/39036333.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2020.

CNEN, 2014, (a), Comissão Nacional de Energia Nuclear. CNEN NN 3.01: **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica.** CNEN, 2014. Brasil.

CNEN, 2017, (b), Comissão Nacional de Energia Nuclear. CNEN NN 6.10: **Requisitos de segurança e proteção radiológica para serviços de radioterapia.** CNEN, 2017. Brasil.

CNEN, 2017, (c), Comissão Nacional de Energia Nuclear. CNEN NN 6.02. **Licenciamento de instalações radiativas.** CNEN, 2017. Brasil.

CNEN, 1995, (d), Comissão Nacional de Energia Nuclear. Sistemática para **Certificação de Serviços de Monitoração Individual e Externa.** Portaria DRS/CNEN nº1, D.O.U nº191, 1995. Brasil.

CNEN, 2005, (e), Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Fatores de Ponderação para as Grandezas de Proteção Radiológica.** PR-3.01/002, 2005. Brasil.

CNEN, 2005, (f), Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Restrição de Dose, Níveis de Referência Ocupacionais e Classificação de Áreas.** PR 3.01/004, 2005. Brasil.

CNEN, 2005 (g), Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Critérios para Cálculo de Dose Efetiva a Partir da Monitoração Individual.** PR 3.01/005, 2005. Brasil.

CARDOSO, M. E; Programa de Integração CNEN. **Módulo Informação Técnica.** CNEN. 2003. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/programa-de-informacao-cnen.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2020.

DANTAS. C. S. **Estudo sobre a possibilidade do uso de uma unidade terapêutica de ⁶⁰CO em IMRT.** Dissertação (Mestrado). Rio de Janeiro, RJ. 2009. CNEN/IRD. Disponível em <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/021/41021886.pdf> Acesso em: 18 ago. 2020.

DOROW, F. P. MEDEIROS, C. (Org.) **Proteção radiológica no diagnóstico e terapia.** 1ª Edição. Publicação do IFSC. Florianópolis, SC. 2019.

FEDERICO, C. A. **Dosimetria da radiação cósmica no interior de aeronaves no espaço aéreo brasileiro**. 2011. 172 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2011.

HALL, Eric J. **Radiobiology for the Radiologist**. 5th. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2000.

ICRP1991.1990 **Recommendations of the International Commission on Radiological Protection**. ICRP Publication 60. Disponível em <https://www.icrp.org/publication.asp?id=icrp%20publication%2060>. Acesso em: 29 jun. 2021.

ICRP 2007. **2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection**. ICRP Publication 103. Disponível em https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_37_2-4. Acesso em: 16 ago. 2021.

ICRU. International Commission on Radiation Units and Measurements. **Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry**, ICRU Report 51, Estados Unidos. 1993.

INCA. Instituto Nacional do Câncer. **Estimativa 2020, Incidência do Câncer no Brasil**. INCA. Rio de Janeiro. 2019.

INCA. Instituto Nacional de Câncer. **Diretrizes para a vigilância do câncer relacionado ao trabalho**. INCA. Rio de Janeiro. 2012.

LEYTON *et al.* **Proteção Radiológica na Cardiologia Intervencionista: Uma Revisão Sistemática**. Artigo. Revista Brasileira de Cardiologia, 2014. Pág. 87-98. Disponível em <https://www.scielo.br/pdf/rbci/v22n1/0104-1843-rbci-22-01-0087.pdf> Acesso em: 17 ago. 2020.

LNMRI. **Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes. Grandezas e Unidades para Radiação Ionizante: Recomendações e Definições**. IRD/CNEN. Rio de Janeiro, Brasil, 2002.

MAIA, T. E. **Mapeamento de competências de profissionais de radioterapia em hospitais do SUS**. Dissertação (Mestrado). Rio de Janeiro, RJ. 2015. Fiocruz/MS. Disponível em https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/13462/1/ve_Edward_Torres_ENSP_2015.pdf. Acesso em: 04 ago. 2020.

MARTA, N G; HANNA A S; SILVA, J. L. F.; CARVALHO, A. H. **Câncer de próstata localizado: teleterapia, braquiterapia ou prostatectomia radical?** Disponível em <http://files.bvs.br/upload/S/1413-9979/2012/v17n2/a3027.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2020.

MAURÍCIO, C. Entrevista. **Webserie Proteção Radiológica: Dicas, Entrevistas, Histórias e Curiosidades**. 2019. São Carlos, SP. Disponível em <https://www.sapralandauer.com.br/rotecao-radiologica-saiba-sobre-os->

principais-aspectos-normas-e-tecnologias-empregadas/webserie-da-supra-traz-informacao-com-especialistas-em-protecao-radiologica/ep-3-monitoracao-individual-e-os-principais-objetivos-do-gdose/>. Acesso em: 05 ago. 2020.

MOURÃO, A. P; OLIVEIRA, Fernando Amaral de. **Fundamentos de Radiologia e imagem**. São Caetano do Sul: Difusão, 2009.

OKUNO, E.; CALDAS, I. L.; CHOW, C. **Física para ciências biológicas biomédicas**. São Paulo: Harper &How do Brasil, 1982.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. **Física das radiações. Oficina de Textos**. São Paulo, 2010.

OKUNO, E. **Efeitos biológicos das radiações ionizantes: acidente radiológico de Goiânia**. Estud. av., São Paulo, v. 27, n. 77, p. 185-200, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142013000100014&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 19 jun. 2020.

OLIVEIRA, J. R. *et al.* **Biofísica: para ciências biomédicas**. 4. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS. 2016. 299 p.

OPAS, Organização Pan-Americana da Saúde. Folha informativa – Câncer. Setembro/2018. Disponível em https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5588:folha-informativa-cancer&Itemid=1094. Acesso em: 16 ago. 2020.

PAIVA, E. **Princípios do cálculo de blindagem em radioterapia**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, n. 3, 3311 (2014). Disponível em <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v36n3/11.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2020.

PERUZZO, J. (a). **Fronteiras da Física: Tópicos da Física Moderna e Contemporânea**. Volume II, 1ª Edição, Editora Irani (SC). 2012.

PERUZZO, J. (b). **Física e energia nuclear**. 1ª Edição, Editora Livraria da Física, São Paulo. 2012.

RAIMONDI, G. E. Dissertação. **Radiação cósmica e o risco ocupacional dos tripulantes de vôos comerciais no Brasil**. UNISUL. Palhoça, SC. 2019.

SÁ, V. L. **Controle de qualidade de imagens em tomografia por emissão de pósitrons**. Tese. (Doutorado). COPPE/UERJ. Rio de Janeiro, RJ. 2010. Disponível em http://antigo.nuclear.ufrj.br/DScTeses/teses2010/tese_lidia_sa.pdf. Acesso em: 22 jun. 2020.

TAUHATA, L., SALATI, I. P. A., DI PRINZIO, R., DI PRINZIO, M. A. R. R. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. 9ª revisão. Novembro/2013 – IRD/CNEN. Rio de Janeiro. 2013.

I SIMPÓSIO SOBRE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL A RADIAÇÕES IONIZANTES NO BRASIL. **Exposições ocupacionais no mundo**. 2019. Anais. IRD / CNEN.

SILVA, O. A. **Comparação da dose absorvida no tratamento do câncer ginecológico por braquiterapia de alta taxa de dose utilizando o planejamento convencional do tratamento e simulação por Monte Carlo**. 2010. 107 f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Radioproteção e Dosimetria – Comissão Nacional de Energia Nuclear. Rio de Janeiro. 2010.

SOUTO, B. E. **Proteção Radiológica e o SESMT. Impasses Normativos**. Artigo. 2019. Revista Eletrônica CIPA (Internet). Disponível em <https://prorad.com.br/sis/storage/conteudos/274/7244_Protecao_Radiologica_e_o_SESMT_Revista_CIPA.pdf> Acesso em: 19 abr. 2020.

UNEP. **Radiação Efeitos e Fontes. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente**. 2016. Disponível em <<http://www.aben.com.br/Arquivos/544/544.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2020.

VICENTE, R. **Gestão de fontes radioativas seladas descartadas**. Tese (Doutorado). IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/USP. São Paulo, 2002. Disponível em <http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Roberto%20Vicente_D.pdf>. Acesso em: 26 out. 2020.

XAVIER, A. M. F. **Princípios básicos de segurança e proteção radiológica**. 3ª Edição. Porto Alegre, UFRGS. 2014.

XAVIER, M. A *et al.* **Marcos da história da radioatividade e tendências atuais**. Quim. Nova, Vol. 30, No. 1, 83-91, 2007 (internet), 2007. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010040422007000109>. Acesso em: 20 abr. 2020.

IMAGENS DA INTERNET:

- i) **tecnodesign.ind.br**
Disponível em <<https://www.tecnodesign.ind.br/aparelho-raio-x-convencional-e-digital>>. Acesso em: 18jun. 2020.
- ii) **irsa.med.br**
Disponível em <<https://www.irsa.med.br/mamografia/>>. Acesso em: 18 de jun. 2020.
- iii) **gehealthcare.com**
Disponível em <<https://www.medicalexpo.com/pt/prod/ge-healthcare/product-70717-846888.html>>. Acesso em: 11 jul. 2020.
- iv) **ipen.com**
Disponível em <https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=35&campo=1576>. Acesso em: 11 jul. 2020.

- v) **msreporter.com.br**
Disponível em <msreporter.com.br/hospital-do-cancer-inaugura-equipamento-unico-em-ms/>. Acesso em: 15 jul. 2020.
- vi) **sapralaunder.com.br**
Disponível em <https://www.sapralandauer.com.br/produtos-e-servicos/dosimetro-radiacao-tld-sapra/>>. Acesso em: 15 jul. 2020.
- vii) **strattner.com.br**
Disponível em <<https://www.strattner.com.br/blog/categorias/tratamento-nao-invasivo/o-que-e-radioterapia.asp>>. Acesso em: 13 jul. 2020.
- viii) **cnen.gov.br**
Disponível em <<http://antigo.cnen.gov.br/index.php/instalacoes-autorizadas>>. Acesso em 08 ago. 2020.
- ix) **cnen.gov.br**
Disponível em http://www.cnen.gov.br/noticias/documentos/entendendo_radiacao.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2020.
- x) **en.wikipedia.org**
Disponível em <https://en.wikipedia.org/wiki/International_Commission_on_Radiological_Protection>. Acesso em: 19 de ago. 2020.

APÊNDICE 01
QUESTIONÁRIO

1. Qual seu tempo de atuação no INCA, HC 1, no setor de Radioterapia?
___ Ano e ___ meses;

2. Como você se identifica?
() Masculino () Feminino () Prefiro não dizer

3. Qual o seu grau de instrução?

4. Atua em outro órgão ou empresa na função de técnico em radioterapia?

() Sim () Não

5. A Instituição organiza e realiza os treinamentos relacionados à segurança e proteção radiológica?

() Sim () Não

6. No seu entendimento, os treinamentos recebidos são suficientes (em termos de conteúdo programático e carga horária) para melhoria de seu aprendizado quanto à radioproteção aplicada em sua rotina de trabalho?

() Sim () Não

7. Você tem conhecimento dos limites de doses para os IOE (indivíduo ocupacionalmente exposto) definidos pela norma da CNEN NN 3.01?

() Sim () Não

8. Você tem realizado os exames básicos de rotina que avaliam o seu estado de saúde, semestralmente, incluindo o hemograma completo com contagem de plaquetas?

() Sim () Não

9. Na sua função é necessário o uso de EPI?
() Sim () Não
10. No caso de ser necessária a utilização do EPI, utiliza-os sempre durante as suas atividades?
() Sim () Não () Às vezes () A maior parte das vezes
11. Há exigências, por parte da Instituição, pelo uso do EPI?
() Sempre () Às vezes () Nunca
12. A Instituição lhe oferece gratuitamente os EPI's (Equipamentos de Proteção Individual) aventais, luvas, óculos, entre outros, necessários à execução de suas atividades em ambientes sujeitos à radiação ionizante?
() Sim () Não
13. Faz o uso contínuo do cartão de monitoramento (dosímetro individual), fornecido pela Instituição, nos ambientes de área controlada/supervisionada?
() Sim () Não () Às vezes () A maior parte das vezes
14. Se a resposta acima for DIFERENTE de SIM, qual opção abaixo mais se aproxima de sua justificativa?
() Não há dosímetro individual para todos profissionais que atuam no setor de radioterapia
() Esquecimento de portar o dosímetro ao atuar em áreas controladas/supervisionadas
() A Instituição não controla/exige a utilização do dosímetro individual
() Desnecessário a utilização do dosímetro individual, em minha percepção
15. Nas salas de tratamento em radioterapia (teleterapia) foram instalados os EPC's (equipamentos de proteção coletiva)?
() Sim () Não

16. Considerando os seus conhecimentos sobre os riscos à radiação ionizante e, ainda, tendo conhecimento sobre todos os cuidados que a Instituição lhe oferece para manter a saúde e segurança no ambiente ocupacional, você sente-se seguro em realizar suas atividades laborais nos ambientes onde há incidência de radiação ionizante?
- Sim Não
17. Caso a resposta acima seja NEGATIVA, qual seria, no seu entendimento, a alternativa abaixo que poderia aumentar a sua percepção quanto à segurança nos ambientes onde há exposição à radiação?
- Ampliação da carga horária de treinamentos e investimento em capacitação
- Alteração do conteúdo programático/informações apresentadas nos treinamentos
- Alteração de procedimentos e rotinas de trabalho
- Substituição dos equipamentos utilizados (por aparelhos mais novos/modernos, etc);
- Aumento do número de profissionais da equipe assistencial, diminuindo a carga horária de trabalho
18. Em algum momento de sua atividade profissional notou alguma falha de equipamento emissor de radiação ionizante, acidente, erro de administração de dose no paciente ou situação anormal similar?
- Sim Não
19. Caso seja POSITIVA a resposta acima, na sua percepção, foram adotadas todas as medidas necessárias e suficientes para garantir a segurança ao paciente e ao trabalhador?
- Sim Não Não se aplica
20. Conhece o profissional responsável pela Proteção Radiológica do setor de radioterapia da Instituição?
- Sim Não
21. Conhece o profissional responsável legal do Serviço de Radioterapia da Instituição autorizado perante CNEN?
- Sim Não
22. Você tem conhecimento do Plano de Proteção Radiológica da Instituição?
- Sim Não

APÊNDICE 02

Site da CNEN relacionando as instalações de saúde e medicina **AUTORIZADAS** a realizarem a prática de radioterapia no Brasil. Entre os autorizados, o Instituto Nacional do Câncer, site objeto do estudo.

Instalações Autorizadas

Radioterapia - Posição em 08/03/2021

1. Todo Serviço de Radioterapia deve ser registrado na CNEN e ter um Plano de Radioproteção aprovado, que especifique todas as fontes de radiação que irá utilizar e respectivos procedimentos de manuseio, armazenamento, gerência de rejeitos etc. (Normas CNEN-NE-3.0.1 - Diretrizes Básicas de Radioproteção e CNEN-NE-5.02 - Licenciamento de Instalações Radiativas).

2. No caso específico de fontes de I 125, há Serviços de Radioterapia relacionados abaixo que não estão autorizados a importar estas fontes radioativas porque não possuem procedimentos específicos para seu uso.

3. Quando o Serviço de Radioterapia solicitar autorização para importação de fontes de radiação não previstos inicialmente no Plano de Radioproteção aprovado pela CNEN, deverá encaminhar a complementação dos procedimentos aplicáveis juntamente com o formulário SCRA.

As instalações que não constarem da relação abaixo deverão solicitar a renovação de suas respectivas autorizações através do formulário SCRA e TLC.

Matrícula	Instituição	Cidade	UF	Autorização
13535	AIM - ASSOCIACAO INST MIS/HOSP.MAT.SAO VICENTE PAULO	BARBALHA	CE	23/02/2022
16033	ARAKAWA RADIOTERAPIA EIRELI	BAURU	SP	05/05/2021
11415	ASSOC DE COMB AO CANCER DE GOIAS - HOSP ARAUJO JORGE	GOIANIA	GO	22/04/2022
12805	ASSOC DE COMBATE AO CANCER DE GOIAS/AMBUL MALIA CAVALCANTI SAVIO	ANAPOLIS	GO	02/03/2022
11416	ASSOC FEMININA PREV COMB AO CANCER DE J FORA - HOSP MARIA JOSE BAETA REIS	JUIZ DE FORA	MG	05/09/2021
11417	ASSOC MATOGROSSENSE DE COMBATE AO CANCER - DEPTO DE	CUIABA	MT	01/05/2021
11515	INSTITUTO DO RADIUM DE CAMPINAS S/C LTDA	CAMPINAS	SP	09/08/2021
16981	INSTITUTO HOSPITAL DE BASE DO DISTRITO FEDERAL	BRASILIA	DF	22/06/2022
13169	INSTITUTO LONDRINA DE RADIOTERAPIA S/C LTDA	LONDRINA	PR	03/09/2021
11461	INSTITUTO MARANHENSE DE ONCOLOGIA ALDENORA BELLO	SAO LUIS	MA	04/05/2022
11518	INSTITUTO NACIONAL DE CANCER - INCA/RJ	RIO DE JANEIRO	RJ	15/07/2021
12968	INSTITUTO ONCOLOGIA RADIOTERAPIA SAO PELLEGRINO S/C	PORTO VELHO	RO	18/06/2021
11521	INSTITUTO ONCOLOGICO LTDA	NOVA IGUACU	RJ	08/09/2022
14563	INSTITUTO ONCOLOGICO LTDA - HOSP. JOÃO FELÍCIO	JUIZ DE FORA	MG	21/04/2021

Fonte: <http://antigo.cnen.gov.br/index.php/instalacoes-autorizadas-2>