

# A FÍSICA PARA O DESENVOLVIMENTO EQUILIBRADO

UM CONTRIBUTO

Organizadores

Nilson Marcos Dias Garcia

Maria da Conceição Abreu

## **Organizadores**

Nilson Marcos Dias Garcia

Maria da Conceição Abreu

# **A FÍSICA PARA O DESENVOLVIMENTO EQUILIBRADO: UM CONTRIBUTO**

2021

# A FÍSICA NA SAÚDE: CAMINHOS PROFISSIONAIS E TENDÊNCIAS

## *PHYSICS IN HEALTH: PROFESSIONAL PATHS AND TRENDS*

Ana Maria Marques da Silva<sup>1</sup>

### RESUMO

Os físicos médicos que trabalham no ambiente clínico são profissionais de saúde, com educação e treinamento especializado nos conceitos e técnicas da física aplicados na medicina. Eles possuem um papel central na garantia do uso seguro e eficaz da radiação e estão envolvidos no projeto de instalações radiativas e na compra e implementação de novas tecnologias. O controle de qualidade e a segurança radiológica de pacientes, funcionários e indivíduos do público em geral são as suas principais responsabilidades. Apesar de a tecnologia de uso das radiações na medicina ter avançado substancialmente nas últimas décadas, devido à natureza altamente especializada da física médica e ao número relativamente pequeno de físicos médicos, o escopo de seu trabalho nem sempre é bem definido e nem bem entendido pelos profissionais e autoridades de saúde em todo o mundo. Este artigo tem como objetivo apresentar uma visão histórica do papel dos físicos que trabalham na área da saúde e medicina em suas diversas subespecialidades (radiologia diagnóstica, medicina nuclear, radioterapia e proteção radiológica), bem como as principais recomendações para seu treinamento. São apresentados os papéis desempenhados por físicos médicos em hospitais e clínicas no diagnóstico por imagem e na terapia. Finalmente, são abordadas as últimas tendências em física médica, apresentando algumas inovações tecnológicas e seus impactos nas atuações dos físicos.

*Palavras chave:* física médica, radioterapia, imagens médicas, proteção radiológica.

### EXTENDED ABSTRACT

Throughout history, medical devices and procedures have benefited from the use of phenomena and experimental techniques of physics such as x-rays, particle accelerators, radioisotope labeling, radiation detection instrumentation, nuclear magnetic resonance, and ultrasound. These contributions have revolutionized the ways of visualizing the anatomical structure and function of the human body and the treatment of diseases. The relationship between medicine and physics has been mutual and essential for both disciplines for the overall goal of medicine: fostering human health.

Medical physics is a science that uses physics principles, methods, and techniques in practice and research for the prevention, diagnosis, and treat-

---

<sup>1</sup> Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS, ana.marques@puers.br

ment of human diseases with a specific goal of improving human health and well-being (IOMP, 2010a). This paper aims to present a historical overview of medical physicists' specialties and their roles, main recommendations for their training, as well as the latest trends in the field.

Historically, we can identify the most significant physics discoveries that significantly affected medicine at the end of the 19th century: Röntgen produced x-rays, Henri Becquerel discovered natural radioactivity, and Pierre and Marie Curie identified radium and isolated radioactive isotopes. None of them was a medical physicist in the modern sense, and the prospect of medical applications did not inspire their investigations. But when Röntgen circulated his wife's hand radiographs to his colleagues, the medical potential was immediately apparent. The harmful effects of radiation became patent very early on, and the Röntgen Society established, in 1898, a Committee on X-ray Injuries, initiating the discipline of radiation protection. The recognition of the biological effects of radioisotopes, reported by Becquerel in 1901, gave rise to another important area of clinical application: radiation therapy. Rapid technological developments in image quality and treatment standardization followed, with significant landmarks, including the development of a more reliable x-ray tube by William Coolidge and the standardization of radiation measurement by Rolf Sievert. The production of artificial radioisotopes had been achieved in 1934 by Irene Joliot-Curie and Frederick Joliot. The developments in nuclear physics technology after the second world war were crucial for the spread of artificial radioisotopes production in sufficient quantities for practical use in medicine (Mould, 1993; Keevil, 2012).

Medical physics emerged as a distinct scientific discipline early in the 20th century in response to the growing use of ionizing radiation in diagnosis and treatment (Keevil, 2012). Medical physicists working in the clinical environment are health professionals, with education and specialist training in the concepts and techniques of applying physics in medicine, competent to practice independently in one or more of the subfields of medical physics. The requirements for education and specialist training of medical physicists depend on the country. However, the International Organization of Medical Physics (IOMP) stated a minimum education requirement of a bachelor's degree in physics or equivalent degree and a master's degree level in medical physics or equivalent. The clinical training clinical should not be less than two years full-time equivalent, carried out under the direct supervision of a Certified Medical Physicist (CMP) (IOMP, 2010b).

Medical physicists have a central role in assuring the safe and effective use of radiation. They are involved in the design of facilities, purchase, and implementation of new technologies, quality control, and radiation safety for patients, staff, and the general public (IOMP, 2010a, 2010b).

Medical physics includes sub-specialties, such as radiation therapy, diagnostic radiology, nuclear medicine, and radiation protection. Radiation therapy physicists have been leading the development and application of particle accelerators in the treatment of cancer, where beams of electrons or highly energetic x-rays provide doses capable of destroying cancer cells and preventing the growth of tumors. In diagnostic radiology, medical physicists analyze the output of the imaging devices to ensure adherence to targeted expectations both in terms of high quality and low dose. They ensure that the actual output of the imaging technologies match their promises, capturing both its inherent capability and its optimum use. In nuclear medicine, radiopharmaceuticals are injected in patients, following their physiological process of interest. After the uptake, radiation passes through the body structures, being detected by an array of gamma detectors. Medical physicists in nuclear medicine departments assist with the physical aspects of any new applications for nuclear technologies, performing acceptance testing, maintaining a quality program of nuclear medicine instrumentation, and making any necessary dosimetric calculations (SNMMI, 2019). Medical physicists working with radiation protection are devoted to protecting people and their environment from potential radiation hazards while making it possible to enjoy the beneficial uses of radiation.

Thanks to the results of medical physics research, radiation technology has advanced substantially in the past decade. However, because of the highly specialized nature of medical physics and the relatively small numbers of medical physicists, the scope of their work is not always well defined, nor well understood, by health-care professionals and health authorities worldwide. The advances in the medical field, combining diagnosis and therapy to provide more personalized and adequate treatment to each patient, is requiring a higher number of medical physicists in hospitals and the industries to develop, optimize and validate new types of equipment and procedures (Samei & Grist, 2018). Medical physicists have an excellent potential to move beyond compliance and safety testing toward intentional evidence-based use of the technology to serve clinical care.

*Key-words:* medical physics, radiation therapy, medical imaging, radiation protection.

## INTRODUÇÃO

A prática da medicina foi significativamente influenciada por aplicações indiretas e diretas das descobertas e invenções provenientes da física. Ao longo da história, dispositivos e procedimentos médicos se beneficiaram da aplicação de fenômenos e técnicas experimentais da física, como os raios X, os aceleradores de partículas, a produção de radioisótopos, a instrumentação

nuclear, a ressonância magnética e o ultrassom. Muitas dessas tecnologias possuem amplo uso no ambiente clínico, como no diagnóstico por imagem e na radioterapia. Essas contribuições revolucionaram as formas de visualizar a anatomia, a fisiologia e o tratamento de doenças. A relação entre a medicina e a física tem sido mútua e essencial para ambas as disciplinas, com um objetivo geral comum: promover a saúde humana.

Apesar da sofisticação e da especialização exigidas pela física moderna e pela medicina moderna, os dois campos mantêm uma forte interação. De fato, a medicina moderna deve muito à física moderna. A prática médica utiliza uma ampla gama de equipamentos que contêm dispositivos eletrônicos, fibras ópticas, detectores de radiação e instrumentação nuclear, por exemplo.

A física médica é uma ciência que utiliza princípios, métodos e técnicas de física na prática e na pesquisa para prevenção, diagnóstico e tratamento de doenças humanas com o objetivo específico de melhorar a saúde e o bem-estar humanos (IOMP, 2010a). Este artigo tem como objetivo apresentar uma visão histórica da física médica e dos papéis exercidos pelos físicos na saúde, as principais recomendações para sua formação e treinamento e as últimas tendências na área.

## **UMA PERSPECTIVA HISTÓRICA**

Historicamente, podemos identificar as descobertas mais importantes da física que afetaram significativamente a medicina nos últimos quatro anos do século XIX: Röntgen produziu os raios X, Henri Becquerel descobriu a radioatividade natural e Pierre e Marie Curie identificaram o elemento rádio e isolaram isótopos radioativos. Nenhum deles era físico médico no sentido moderno e suas investigações não foram inspiradas pela perspectiva de suas aplicações médicas. No entanto, quando Röntgen apresentou as radiografias da mão de sua esposa para seus colegas, o potencial médico foi imediatamente reconhecido. Sabe-se que os efeitos nocivos da radiação tornaram-se evidentes desde o início e a Sociedade Röntgen estabeleceu, em 1898, um Comitê de Lesões por Raios X, iniciando a disciplina de proteção contra radiação ou proteção radiológica. O reconhecimento dos efeitos biológicos dos radioisótopos, relatados por Becquerel em 1901, deu origem a outra importante área de aplicação clínica: a radioterapia. Seguiram-se rápidos desenvolvimentos tecnológicos na melhoria da qualidade da imagem e na padronização de tratamentos, com marcos significativos que incluem o desenvolvimento de um tubo de raios X mais confiável por William Coolidge e a padronização da medição de radiação por Rolf Sievert. Embora a produção de radioisótopos tenha sido obtida em 1934 por Irene Curie e Frederick Joliot, o desenvolvimento da tecnologia nuclear após a Segunda Guerra Mundial foi crucial para

a produção em quantidades suficientes para uso prático na medicina (Mould, 1993; Keevil, 2012).

## **CAMINHOS PROFISSIONAIS NA FÍSICA MÉDICA**

A física médica surgiu como uma disciplina científica distinta no início do século XX, em resposta ao crescente uso da radiação ionizante no diagnóstico e tratamento. O estabelecimento das primeiras posições para os físicos que trabalhavam em hospitais após a Primeira Guerra Mundial lançou as bases para uma nova profissão na área da saúde, que continua a desempenhar um papel essencial no desenvolvimento e na implementação segura e eficaz da tecnologia baseada na física (Keevil, 2012).

Os físicos médicos que trabalham no ambiente clínico são profissionais da saúde, com educação e treinamento especializado nos conceitos e nas técnicas de aplicação da física em medicina, competentes para praticar independentemente um ou mais subcampos da física médica. Os requisitos para educação e treinamento especializado de físicos médicos que trabalham como profissionais de saúde dependem muito do país. No entanto, a Organização Internacional de Física Médica (IOMP) estabeleceu como requisitos mínimos um diploma de bacharel em física ou um grau equivalente em uma disciplina de ciências físicas ou de engenharia e um nível de mestrado em física médica ou um grau equivalente em uma ciência física apropriada. O treinamento clínico não deve ser inferior a dois anos em período integral e deve ser realizado sob a supervisão direta de um Físico Médico Certificado no mesmo subcampo do treinamento (IOMP, 2010b).

O escopo das funções de um físico médico abrange uma ampla gama de atividades em hospitais nos quais a tecnologia da radiação é utilizada (IOMP, 2010a, 2010b). Como parte da equipe de profissionais de saúde, os físicos médicos têm um papel central na garantia do uso seguro e eficaz da radiação. Eles estão envolvidos nos projetos de instalações radiativas e na compra e implementação de novas tecnologias. O controle de qualidade e a segurança da radiação para pacientes, funcionários e indivíduos do público em geral são suas principais responsabilidades. Todas essas atividades dependem de uma compreensão aprofundada dos princípios de física das radiações e das tecnologias da radiação.

A física médica possui subespecialidades: a radioterapia, a radiologia diagnóstica, a medicina nuclear e a proteção radiológica.

Nos últimos cinquenta anos, os físicos de radioterapia têm liderado o desenvolvimento e a aplicação de aceleradores de partículas no tratamento do câncer. Inicialmente confinados a laboratórios de pesquisa, os aceleradores produzem feixes de elétrons ou raios X altamente energéticos e fornecem

doses capazes de destruir células cancerígenas e impedir o crescimento de tumores. Uma técnica avançada, chamada IMRT (radioterapia modulada por intensidade), vem expandindo a capacidade de controlar tumores, usando um software de planejamento que otimiza, com alta precisão, a forma do campo de tratamento. Isso é alcançado com colimadores que limitam o feixe de radiação do acelerador – fornecendo assim uma dose mais alta ao tumor – enquanto minimizam a radiação em tecidos saudáveis nas proximidades da região em tratamento.

Na radiologia diagnóstica, os físicos médicos analisam a saída dos dispositivos que produzem imagens para garantir sua aderência às expectativas, tanto em termos de alta qualidade quanto de baixa dose. Eles garantem que a saída real das tecnologias de imagem corresponda às suas promessas, capturando tanto sua capacidade inerente quanto seu uso ideal. Esse tipo de análise da qualidade e consistência de operação reduz a variabilidade no cenário clínico e permite a quantificação do impacto das novas tecnologias. Os físicos médicos são qualificados de maneira singular para realizar essa análise baseada em ciência de dados.

Na medicina nuclear, um traçador é injetado no corpo do paciente em pequenas quantidades para produzir imagens fisiológicas. Chamado radiofármaco, o traçador é um composto molecular (fármaco) associado a um material radioativo (radioisótopo). O radiofármaco é distribuído no organismo, seguindo o processo fisiológico ou sendo armazenado nas regiões de interesse. Após a captação, a radiação atravessa as estruturas do corpo, sendo detectada por uma série de sensores de radiação gama.

Os físicos médicos fazem parte da equipe de medicina nuclear, fornecendo assistência em relação a todos os aspectos físicos de novas aplicações para a tecnologia nuclear, realizando testes de aceitação e mantendo um programa de qualidade da instrumentação para medicina nuclear, além de realizar os cálculos dosimétricos (SNMMI, 2019).

Aqueles que trabalham com proteção contra radiação, também chamados de físicos em saúde, são dedicados a proteger as pessoas e seu ambiente contra possíveis riscos devido à radiação, ao mesmo tempo que viabilizam os usos benéficos da radiação.

## **TENDÊNCIAS NA FÍSICA MÉDICA**

Embora a ciência da física médica e a prática clínica de diagnóstico por imagem e terapia tenham seguido trajetórias profissionais separadas, elas permanecem fortemente interconectadas.

Graças aos resultados da pesquisa em física, as tecnologias que envolvem a radiação avançaram substancialmente na última década. No entanto, devido à natureza altamente especializada da física médica e ao número relativamente pequeno de físicos médicos, o escopo de seu trabalho nem sempre é bem definido e nem bem entendido pelos profissionais e autoridades de saúde em todo o mundo.

Uma das tendências observadas na física médica é a busca pelo aumento da qualidade da imagem associada à otimização de custos, tempo e exposição à radiação. Além de imagens médicas de maior resolução espacial e especificidade, as técnicas de diagnóstico por imagem estão avançando no sentido de avaliar o comportamento de doenças em diferentes estágios, como a velocidade de oxigenação e perfusão de tumores em várias escalas, fornecendo indicadores sobre a resposta dos tecidos aos tratamentos quimioterápicos e radioterápicos. Para tanto, será preciso também investir no emprego da menor dose com a maior precisão – adquirida com maior velocidade e menor custo.

Uma área de futuro na física médica é a análise de imagens médicas nas quais se agrega a quantificação, possibilitando sua interpretação por meio de mapas paramétricos, que revelam as propriedades intrínsecas dos tecidos e suas propriedades biofísicas e fisiológicas. Nesse sentido, será preciso investir na criação e no desenvolvimento de biomarcadores quantitativos mais robustos e reprodutíveis, que permitam seu uso em várias modalidades de diagnóstico e tratamento, bem como sua adoção na prática clínica.

A pesquisa na área médica está avançando no sentido de combinar diagnóstico e terapia, em uma nova área denominada teranóstico, para oferecer um tratamento mais personalizado e adequado a cada paciente, levando à medicina personalizada. Nesse cenário, será essencial incorporar um número mais significativo de físicos médicos em hospitais e clínicas, bem como nas indústrias que desenvolvem equipamentos de diagnóstico e terapia.

A prática centrada no paciente, baseada em evidências e amparada por imagens médicas e radioterapia, pressupõe e requer o uso otimizado e consistente da tecnologia (Samei & Grist, 2018). Tecnologias inovadoras oferecem oportunidades aprimoradas para atendimento clínico de alta qualidade e para a medicina personalizada. No entanto, é necessário o máximo rigor no uso eficaz da tecnologia para obter alta qualidade, bem como a prática consistente da física médica. A física médica tem um excelente potencial para ir além dos testes de conformidade e segurança dos equipamentos, rumando em direção ao uso intencional e baseado em evidências da tecnologia para atender os cuidados clínicos.

## AGRADECIMENTOS

A autora agradece o apoio recebido da Sociedade Brasileira de Física para participar do evento.

## REFERÊNCIAS

- IOMP. (2010a). Working Group on Policy Statement No. 1. IOMP policy statement no. 1: *The medical physicist: role and responsibilities*. Available at: [https://www.iomp.org/wp-content/uploads/2019/02/iomp\\_policy\\_statement\\_no\\_1.pdf](https://www.iomp.org/wp-content/uploads/2019/02/iomp_policy_statement_no_1.pdf). Date: Jan 30, 2020.
- IOMP. (2010b). IOMP Working Group on Policy Statement No. 2. IOMP policy statement no. 2: *Basic requirements for education and training of medical physicists*. Available at: [https://www.iomp.org/wp-content/uploads/2019/02/iomp\\_policy\\_statement\\_no\\_21.pdf](https://www.iomp.org/wp-content/uploads/2019/02/iomp_policy_statement_no_21.pdf). Date: Jan 30, 2020.
- Keevil, S. F. (2012). Physics and medicine: a historical perspective. *Lancet*, 379(9825), 1517-1524.
- Mould, R. (1993). *A century of x-rays and radioactivity in medicine*. Bristol: IOP Publishing.
- Samei E. & Grist T. M. (2018). Why Physics in Medicine? *J. Am. Coll. Radiol.* 15(7), 1008-1012.
- SNMMI. (2019). Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. Available at: <https://www.snmami.org/AboutSNMMI/Content.aspx?ItemNumber=4191>. Date: Jan 30, 2020.