



**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS PENEDO
CURSO TÉCNICO SUBSEQUENTE EM QUÍMICA**

ROSILAINY RAQUIELLE SANTOS DA SILVA

APLICAÇÕES DA RADIOTIVIDADE NA MEDICINA NUCLEAR

**PENEDO, AL
2026**

ROSILAINY RAQUIELLE SANTOS DA SILVA

APLICAÇÃO DA RADIOTIVIDADE NA MEDICINA NUCLEAR

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Técnico Subsequente em Química do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Química.

Orientadora: Marina de Magalhães Silva

PENEDO, AL
2026



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Penedo
Biblioteca Osineide Cavalcante

542.1
S586a

Silva, Rosilainy Raquielle Santos da.
Aplicações da radioatividade na medicina nuclear/
Rosilainy Raquielle Santos da Silva. – Dados eletrônicos (1
arquivo : 508 KB). – 2026.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.
Modo de acesso: Internet.
Orientação: Prof.^a Marina de Magalhães Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico de Nível
Médio Subsequente em Química) – Instituto Federal de
Alagoas, *Campus Penedo*, Penedo, 2026.

1. Radiação ionizante. 2. Radioterapia. 3. Terapia
nuclear. I. Silva, Marina de Magalhães. II. Título.

Maria Luzia Alexandre de Oliveira
Bibliotecária - CRB-4/2159

ROSILAINY RAQUIELLE SANTOS DA SILVA

APLICAÇÃO DE RADIOTIVIDADE NA MEDICINA NUCLEAR

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Curso Técnico Subsequente em Química do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Química.

APROVADO(A) EM: 25/03/2026.

BANCA EXAMINADORA

Marina de Magalhães Silva

Prof^a. Dr^a. Marina de Magalhães Silva
Instituto Federal de Alagoas - IFAL

Amaury Franklin Benvindo Barbosa

Prof. Dr. Amaury Franklin Benvindo Barbosa
Instituto Federal de Alagoas - IFAL

Mirelle Márcio Santos Cabral

Prof. Dr. Mirelle Márcio Santos Cabral
Instituto Federal de Alagoas – IFAL

AGRADECIMENTO

Começo meus agradecimentos a Deus, por me ensinar que cada desafio é uma lição disfarçada e cada obstáculo, uma oportunidade para crescer. Agradeço por todos os obstáculos que Ele coloca em meu caminho, pois, quando chego ao topo da montanha, reconheço na paisagem o que queria me ensinar.

Aos meus pais, que sempre me motivaram a estudar e a alcançar meus objetivos. À minha mãe, pelos conselhos nos dias em que eu acreditava que não seria possível, e por todo o carinho que sempre me proporcionou. Ao meu pai, por todo o esforço e dedicação, trabalhando incansavelmente para me dar a oportunidade de concluir meus estudos e tornar minha jornada mais leve, agradeço por terem me proporcionado a oportunidade de estudar, mesmo não tendo conseguido concluir seus próprios estudos, pois precisaram trabalhar. Graças a isso, hoje posso realizar a conquista de concluir os meus.

Ao meu amor, Pedro, que nunca me recusou amor, apoio e incentivo. Obrigada, com todo o amor do meu coração, por compartilhar os inúmeros momentos de ansiedade e estresse. Sem você ao meu lado, este trabalho não teria sido concluído. Você acompanhou todo esse processo e, mesmo quando estava muito cansado, encontrava formas de me animar, como preparar minhas comidas favoritas. Sou grata pelas inúmeras vezes em que me levou e buscou nas aulas.

É com muita admiração e enorme respeito que venho expressar toda a minha gratidão à minha professora e orientadora, Marina, que, dia após dia, demonstra sua dedicação e amor por esta profissão tão essencial na vida de todos. Obrigada por aceitar esse desafio comigo e por compartilhar seus valiosos conhecimentos.

À instituição, pelo ambiente criativo e amigável que proporciona.

Agradeço ao meu amigo de curso, Otávio, por toda a jornada acadêmica juntos, compartilhando conhecimentos, medos e dúvidas, e por toda a motivação.

Àqueles que, direta ou indiretamente, influenciaram minha trajetória, deixo minha mensagem de agradecimento pela contribuição significativa em minha formação pessoal e acadêmica.

Agradeço a cada pessoa que, com um gesto de gentileza ou uma palavra de incentivo, iluminou os dias mais sombrios desta caminhada. Minha mensagem de agradecimento estende-se à banca presente e à comunidade acadêmica em geral, por criar um ambiente de crescimento mútuo e troca constante de conhecimento.

APLICAÇÃO DE RADIOTIVIDADE NA MEDICINA NUCLEAR

APPLICATION OF RADIOACTIVITY IN NUCLEAR MEDICINE

Rosilainy Raquielle Santos da Silva¹
Marina de Magalhães Silva²

RESUMO

Este trabalho analisa as aplicações da radioatividade na Medicina Nuclear e na Radioterapia, abordando sua evolução histórica, fundamentos físicos, métodos diagnósticos e terapêuticos, bem como os princípios de radioproteção. O estudo, de abordagem qualitativa, caráter exploratório e natureza bibliográfica, foi fundamentado em fontes científicas obtidas em artigos e bases de dados como Google Acadêmico, SciELO e periódicos da CAPES, o qual examina conceitos essenciais da radioatividade, como tipos de radiação e mecanismos de decaimento, e discute o desenvolvimento tecnológico que possibilitou o surgimento de técnicas funcionais de imagem. A pesquisa descreve também o avanço dos métodos terapêuticos, com ênfase na radioterapia externa, braquiterapia e no emprego de isótopos específicos. Os resultados mostram que as radiações ionizantes se tornaram ferramentas indispensáveis para o diagnóstico precoce e o acompanhamento clínico, contribuindo para maior precisão terapêutica e aumento da sobrevivência dos pacientes. O estudo conclui que, apesar dos benefícios, o uso da radiação exige rigorosa observância das normas de proteção radiológica, devido aos riscos biológicos associados, e evidencia a necessidade de investimentos em infraestrutura e formação profissional para ampliar o acesso às tecnologias avançadas no Brasil.

Palavras-chave: Radiação ionizante; Terapia Nuclear; Radioterapia; Diagnóstico por imagem.

ABSTRACT

This work analyzes the applications of radioactivity in Nuclear Medicine and Radiotherapy, addressing its historical evolution, physical foundations, diagnostic and therapeutic methods, as well as the principles of radiation protection. The study, qualitative in approach, exploratory in nature, and bibliographic in character, was based on scientific sources obtained from articles and databases such as Google Scholar, SciELO, and CAPES journals. It examines essential concepts of radioactivity, such as types of radiation and decay mechanisms, and discusses the technological development that enabled the emergence of functional imaging techniques. The research also describes the advancement of therapeutic methods, with emphasis on external beam radiotherapy, brachytherapy, and the use of specific isotopes such as iodine-131, highlighting their effectiveness in the treatment of neoplasms and thyroid diseases. The results show that ionizing radiation has become an indispensable tool for early diagnosis and clinical monitoring, contributing to greater therapeutic precision and increased patient survival. The study concludes that, despite the benefits, the use of radiation requires strict adherence to radiological protection standards due to the associated biological risks and highlights the need for investments in infrastructure and professional training to expand access to advanced technologies in Brazil.

Keywords: Ionizing radiation; Nuclear therapy; Radiotherapy; Diagnostic imaging.

¹ Discente do Curso Técnico Subsequente em Química/IFAL. E-mail: rss1@aluno.ifal.edu.br.

² Docente orientadora do Curso Técnico Subsequente em Química. E-mail: marina.magalhaes@ifal.edu.br.

1 INTRODUÇÃO

A descoberta da radioatividade no final do século XIX marcou um dos avanços científicos mais relevantes para o desenvolvimento da Física Moderna e das Ciências da Saúde. Henri Becquerel foi o primeiro a identificar espontaneamente esse fenômeno, seguido pelos estudos sistemáticos de Marie e Pierre Curie, que aprofundaram o entendimento sobre os elementos radioativos. Como destaca Halliday, Resnick e Walker (2016), “a compreensão da estrutura atômica e dos processos de decaimento radioativo abriu caminho para tecnologias que transformaram a ciência moderna”. Ao longo do século XX, o entendimento sobre o comportamento das radiações ionizantes e sua interação com a matéria impulsionou o desenvolvimento de métodos aplicados à indústria, à pesquisa científica e, principalmente, à área da saúde, conforme também enfatiza Tipler e Mosca (2009).

No campo da saúde, as radiações ionizantes desempenham papel decisivo tanto no diagnóstico quanto no tratamento de doenças. Conforme explica Ziessman (2015), as técnicas da Medicina Nuclear, como a Cintilografia, o SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) e o PET (Positron Emission Tomography), permitem “visualizar processos metabólicos e fisiológicos que não são detectáveis por métodos puramente anatômicos”. Diferentemente de exames estruturais, as imagens produzidas por radiofármacos revelam alterações funcionais precoces, possibilitando diagnósticos mais sensíveis e precisos (KLEIN, 2020). Esse diferencial consolidou os métodos nucleares como fundamentais para a detecção e acompanhamento de doenças cardiovasculares, neurológicas, endócrinas e, sobretudo, oncológicas.

As aplicações terapêuticas da radiação também apresentaram avanços significativos. A radioterapia moderna evoluiu de técnicas rudimentares para abordagens sofisticadas, como IMRT (Radioterapia de Intensidade Modulada), IGRT (Radioterapia Guiada por Imagem) e radiocirurgia, permitindo maior precisão e preservação dos tecidos saudáveis. O emprego de radioisótopos terapêuticos igualmente se destaca, especialmente o iodo-131, amplamente utilizado no tratamento de doenças tireoidianas (SALVAJOLI, 2012). Como afirmam Giovanella et al. (2019), “o iodo-131 permanece como uma das terapias mais eficazes e seguras no manejo de doenças da tireoide”, reforçando a relevância da radiação no manejo oncológico.

Diante desse panorama, o presente trabalho tem como objetivo analisar as aplicações da radioatividade na Medicina Nuclear e na Radioterapia, destacando suas

contribuições para o diagnóstico e o tratamento do câncer. Além disso, busca-se discutir os principais aspectos físicos envolvidos, os efeitos biológicos das radiações e os critérios de radioproteção que asseguram o uso seguro dessas tecnologias. Dessa forma, este estudo integra fundamentos teóricos, evolução histórica e aplicações clínicas, evidenciando o impacto das radiações ionizantes na promoção da saúde e na melhoria dos resultados terapêuticos. Para tanto, empregou-se como metodologia uma pesquisa de abordagem qualitativa, de caráter exploratório quanto ao objetivo e bibliográfica quanto ao procedimento técnico. A coleta de materiais foi realizada em livros e bases de dados acadêmicas, como Google Acadêmico, SciELO e periódicos da CAPES.

2 RADIATIVIDADE

A radioatividade é um fenômeno natural descoberto no final do século XIX, a partir de uma observação acidental feita por Henri Becquerel. Durante seus experimentos com sais de urânio, Becquerel percebeu que um filme fotográfico, mantido próximo a uma rocha de urânio, havia sido velado (manchado), mesmo sem exposição à luz solar. Esse fato revelou a existência de uma forma de energia invisível que emanava espontaneamente de determinados elementos químicos pesados, fenômeno que foi denominado radioatividade (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

Posteriormente, Marie e Pierre Curie confirmaram que outros elementos, como o rádio e o polônio, também apresentavam propriedades semelhantes, emitindo partículas e radiações capazes de alterar substâncias e ionizar gases. Constatou-se, então, que certos núcleos atômicos, por possuírem excesso de energia ou de partículas, tornam-se instáveis e tendem a buscar a estabilidade por meio da emissão de radiação. Durante esse processo, chamado decaimento radioativo, o núcleo transforma-se em outro elemento, liberando partículas alfa (α), beta (β) ou radiação gama (γ), até alcançar uma configuração estável (UNSCEAR, 2021).

Na natureza, existem três séries radioativas naturais, também conhecidas como famílias radioativas: a série do urânio (U-238), a série do tório (Th-232) e a série do actínio (U-235). Cada uma delas é composta por uma sequência de isótopos que se transformam sucessivamente até atingir um núcleo estável de chumbo. Essa

cadeia de transformações explica a presença contínua de elementos radioativos no ambiente, mesmo bilhões de anos após sua formação (TIPLER; MOSCA, 2009).

Com o avanço da tecnologia nuclear, especialmente a partir da criação dos reatores nucleares e dos aceleradores de partículas, tornou-se possível produzir radioisótopos artificiais. Esses isótopos, obtidos a partir de elementos estáveis bombardeados com partículas subatômicas, ampliaram o uso da radioatividade em áreas como medicina, indústria e pesquisa científica. Esse processo deu origem às chamadas séries radioativas artificiais, compostas por radioisótopos de curta duração, criados para fins específicos (TAUHATA et al., 2006).

A manipulação de materiais radioativos, entretanto, gera resíduos que não podem ser descartados de maneira comum, devido à emissão contínua de radiações. Esses materiais são denominados rejeitos radioativos e exigem controle rigoroso de armazenamento e destinação final, a fim de evitar danos ao meio ambiente e à saúde humana. É importante destacar que o termo popular “lixo atômico” é incorreto, pois qualquer substância é formada por átomos; o correto é rejeito radioativo (IPEN, 2021).

Outro conceito relevante é a distinção entre irradiação e contaminação radioativa. A irradiação ocorre quando um corpo ou objeto é exposto à radiação a distância, sem contato direto com material radioativo. Já a contaminação acontece quando há presença física de substâncias radioativas em superfícies, tecidos ou ambientes. Assim, um objeto irradiado não se torna radioativo, mas um objeto contaminado sim, pois contém material emissor em sua estrutura. O processo de descontaminação consiste na remoção completa desse material, eliminando o risco de exposição (CNEN, 2014).

Dessa forma, a radioatividade pode ser compreendida como um fenômeno físico natural, decorrente da instabilidade de certos núcleos atômicos, que libera energia sob a forma de partículas e ondas eletromagnéticas. Apesar dos riscos associados, sua descoberta e controle permitiram avanços científicos e tecnológicos expressivos, sobretudo nas áreas da medicina, indústria e geração de energia.

2.1 APLICAÇÕES DA RADIOATIVIDADE

A radioatividade apresenta diversas aplicações práticas em diferentes áreas do conhecimento. Na medicina, é amplamente utilizada por meio do emprego de radioisótopos em diagnósticos e tratamentos, como na radioterapia, que utiliza a

radiação para o combate de células cancerígenas. Outra aplicação importante é a datação de materiais orgânicos e fósseis por meio do carbono-14 (^{14}C), técnica essencial para estudos arqueológicos e paleontológicos (RAMALHO; NICOLAU; TOLEDO, 2009).

No setor industrial, a radioatividade é aplicada no controle de processos produtivos, como na medição de espessura de materiais, na detecção de vazamentos e na esterilização de equipamentos. Além disso, a geração de energia elétrica em usinas nucleares ocorre através da fissão nuclear, processo no qual o núcleo do átomo se divide, liberando grande quantidade de energia.

Apesar de suas inúmeras aplicações benéficas, a radioatividade demanda rigorosos cuidados e medidas de segurança, pois a exposição excessiva à radiação pode causar danos celulares, mutação genética e aumento do risco de câncer. Por essa razão, é fundamental o uso de equipamentos de proteção, blindagens adequadas e o cumprimento das normas de segurança em locais onde há manipulação de materiais radioativos (CNEN, 2020).

2.2 TIPOS DE RADIAÇÃO (ALFA BETA E GAMA)

As radiações alfas (α), beta (β) e gama (γ) são emitidas por núcleos instáveis e apresentam propriedades físicas distintas, possuindo diferentes níveis de penetração, ionização, efeitos biológicos e aplicações tecnológicas e médicas (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

A radiação alfa (α) consiste na emissão de partículas formadas por dois prótons e dois nêutrons, equivalendo ao núcleo do hélio-4 (^4_2He). Por apresentarem carga elétrica positiva (+2) e massa relativamente alta (4 u), essas partículas possuem elevado poder de ionização, interagindo intensamente com a matéria. Contudo, seu poder de penetração é baixo, sendo bloqueada por uma folha de papel ou pela epiderme humana. Assim, a radiação alfa não representa risco externo significativo, mas pode causar graves danos caso o elemento emissor seja inalado ou ingerido (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

Entre suas aplicações, destaca-se o uso em detectores de fumaça contendo amerício-241, que ioniza o ar permitindo a detecção de partículas de fumaça, além de aplicações em estudos geológicos e arqueológicos para datação de materiais (CNEN, 2020).

A radiação beta (β) consiste na emissão de partículas eletrônicas originadas de transformações no núcleo. Existem dois tipos principais: beta menos (β^-) e beta mais (β^+). Na emissão β^- , um nêutron converte-se em próton, liberando um elétron e um antineutrino, resultando no aumento do número atômico (TIPLER; MOSCA, 2009). Já na emissão β^+ , ocorre a transformação de um próton em nêutron, com emissão de um pósitron e um neutrino, reduzindo o número atômico em uma unidade (YOUNG; FREEDMAN, 2017).

A radiação beta possui poder de ionização intermediário e penetração moderada, podendo atravessar o papel, mas sendo barrada por chapas de alumínio. Na medicina nuclear, é amplamente utilizada em tratamentos e em processos industriais de controle de espessura (CNEN, 2020).

A radiação gama (γ) é uma radiação eletromagnética de alta energia, emitida por núcleos excitados após eventos como decaimentos alfa ou beta. Diferente das radiações citadas anteriormente, a radiação gama não possui massa nem carga elétrica, o que lhe confere grande poder de penetração (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

A distinção moderna entre raios gama e raios X baseia-se na origem: quando oriundos do núcleo, são chamados gama; quando provenientes de transições eletrônicas, são denominados raios X (TIPLER; MOSCA, 2009). Historicamente, a radiação gama foi identificada por Paul Villard em 1900 e nomeada por Ernest Rutherford em 1903, após observar seu alto poder de penetração e ausência de desvio em campos magnéticos (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

Apesar de menor poder ionizante que alfa e beta, a radiação gama é a mais perigosa dentro do organismo, pois pode atravessar tecidos e atingir órgãos internos, ocasionando danos celulares e aumento do risco de câncer. Seus mecanismos de interação com a matéria incluem o efeito fotoelétrico, o espalhamento Compton e a produção de pares elétron-pósitron (TIPLER; MOSCA, 2009).

Aplicações da radiação gama incluem esterilização de materiais, técnicas de diagnóstico e terapia no tratamento do câncer, além de inspeção de cargas e soldas utilizando fontes como cobalto-60 (CNEN, 2020).

2.3 DESCOBERTAS INICIAIS

Os primeiros avanços no uso médico da radiação começaram com a descoberta dos raios X por Wilhelm Conrad Röntgen, em 1895. Ao observar que a radiação emitida em seu experimento podia atravessar tecidos humanos e registrar a imagem dos ossos em chapas fotográficas, o pesquisador inaugurou uma nova era no diagnóstico clínico (RÖNTGEN, 1895; BUSHBERG et al., 2012). A radiografia se tornou imediatamente uma ferramenta essencial em hospitais e campos de batalha, possibilitando a identificação de fraturas e corpos estranhos no organismo sem cirurgia.

Pouco tempo depois, Henri Becquerel percebeu que compostos contendo urânio emitiam radiação espontaneamente, mesmo na ausência de fontes luminosas, fenômeno até então desconhecido (BECQUEREL, 1896). Dando continuidade às descobertas, Marie e Pierre Curie isolaram dois elementos altamente radioativos, o polônio e o rádio, demonstrando que certos materiais liberavam energia continuamente e podiam afetar tecidos biológicos (CURIE; CURIE, 1898).

Essas observações incentivaram os primeiros usos terapêuticos da radiação. No início do século XX, médicos passaram a aplicar sais de rádio em tumores, verificando a redução do crescimento cancerígeno devido à destruição de células malignas pela radiação ionizante (GLASS et al., 2004). Embora ainda sem protocolos de segurança, essas práticas marcaram o nascimento da radioterapia moderna. Entretanto, a falta de conhecimento sobre os efeitos biológicos da radiação levou a consequências graves. Pesquisadores, como a própria Marie Curie, e profissionais de saúde expostos sem proteção sofreram queimaduras, anemia e desenvolvimento de câncer, evidenciando que o uso clínico da radioatividade exigia cuidados rigorosos (IAEA, 2008).

Assim, as descobertas iniciais da radioatividade na medicina, ainda que marcadas por riscos desconhecidos, estabeleceram os pilares da radiologia e da medicina nuclear, áreas que posteriormente se tornariam fundamentais no diagnóstico e tratamento de doenças.

2.4 EVOLUÇÕES DOS METODOS E TECNOLOGIAS

Os avanços científicos que permitiram compreender e aplicar as radiações transformaram profundamente a medicina e o cuidado em saúde. O marco inicial dessa trajetória ocorreu em 1895, quando Wilhelm Conrad Röntgen descobriu os raios

X, revelando a possibilidade de observar estruturas internas sem intervenção cirúrgica e inaugurando uma nova era no diagnóstico clínico. Logo em seguida, as pesquisas de Henri Becquerel e do casal Marie e Pierre Curie sobre a radioatividade natural demonstraram que certos elementos liberam energia continuamente, impulsionando tanto o estudo do átomo quanto as primeiras aplicações terapêuticas da radiação (BUSHBERG et al., 2012; TAUHATA et al., 2003). No início do século XX, o conhecimento atômico expandiu-se rapidamente. Ernest Rutherford elucidou os processos de transmutação radioativa e propôs o modelo nuclear, estabelecendo a base científica para entender como e por que as radiações interagem com a matéria viva. Em paralelo, avanços tecnológicos como o tubo de Coolidge e os primeiros marcadores radioativos idealizados por George Hevesy iniciaram o desenvolvimento dos radiofármacos, que mais tarde viriam a fundamentar a medicina nuclear moderna (RUTHERFORD, 1911; BUSHBERG et al., 2012; HEVESY, 1923).

Entre as décadas de 1920 e 1930, surgiram importantes padronizações, como o estabelecimento das unidades Curie e Röntgen, além de marcos experimentais que revolucionaram a física nuclear: descoberta do nêutron por Chadwick, do pósitron por Anderson e da radioatividade artificial por Frédéric e Irène Joliot-Curie. Com o ciclotron criado por Ernest Lawrence, tornou-se possível produzir radionuclídeos específicos para diagnóstico e terapia, expandindo enormemente as possibilidades clínicas da radiação (CHADWICK, 1932; ANDERSON, 1933; JOLIOT-CURIE; JOLIOT-CURIE, 1934; LAWRENCE; LIVINGSTON, 1932; PODGORSK, 2005).

A descoberta da fissão nuclear, interpretada por Lise Meitner e Otto Frisch a partir dos experimentos de Hahn e Strassmann, possibilitou a construção de reatores, essenciais tanto para a energia quanto para a produção de radioisótopos em larga escala. No mesmo período, o desenvolvimento de detectores, como a câmera gama de Hal Anger, proporcionou os primeiros sistemas de imagem funcional, capazes de analisar processos metabólicos com maior precisão (MEITNER; FRISCH, 1939; ANGER, 1958; IAEA, 2009).

No pós-guerra, avanços tecnológicos consolidaram a radiologia como área indispensável da medicina: o gerador de Tecnécio-99m facilitou o acesso a radiofármacos, a radioterapia tornou-se mais segura e eficaz e novas modalidades de imagem começaram a surgir. Nas décadas seguintes, a Tomografia Computadorizada, a Ressonância Magnética e os exames baseados em emissão de

pósitrons (PET) ampliaram a precisão diagnóstica, permitindo detectar doenças em estágios iniciais, antes de alterações anatômicas serem visíveis (IAEA, 2008).

Mais recentemente, técnicas como a Radioterapia de Intensidade Modulada (IMRT) e a Radioterapia Guiada por Imagem (IGRT) elevaram o padrão terapêutico, garantindo maior seletividade na deposição de dose e reduzindo danos colaterais. Essas inovações representam não apenas avanços tecnológicos, mas também mudanças conceituais: a abordagem puramente anatômica cedeu lugar a métodos funcionais e moleculares, que unem diagnóstico e tratamento de forma integrada — base do conceito de teranóstico (OEHLER; ZWAHLEN; TAUSSKY, 2025).

Assim, a evolução das tecnologias radiológicas e radiofarmacêuticas consolidou um novo modelo de assistência em saúde, caracterizado por maior precisão, personalização terapêutica e segurança nos procedimentos. As radiações tornaram-se ferramentas fundamentais para prevenir, diagnosticar e tratar doenças, contribuindo diretamente para o aumento da sobrevivência e da qualidade de vida da população.

2.5 OS PRINCIPAIS MARCOS HISTÓRICOS

A trajetória da Radiologia ao longo dos últimos 120 anos é marcada por avanços constantes que transformaram profundamente o diagnóstico e o tratamento médico. A Figura 1 apresenta uma linha do tempo contendo as principais informações acerca das descobertas.

Figura 1 – Linha do tempo contendo os principais marcos históricos.



Fonte: elaborado pela autora, 2026.

O início dessa evolução ocorreu em 1895, quando Wilhelm Conrad Röntgen identificou uma radiação desconhecida capaz de atravessar tecidos e formar imagens

internas do corpo humano. Em seu relato original, Röntgen destacou que “uma nova espécie de radiação havia sido descoberta acidentalmente” (RÖNTGEN, 1895). A primeira radiografia, a famosa imagem da mão de sua esposa, tornou-se um marco para a ciência e impulsionou, a partir de 1901, o reconhecimento internacional da descoberta, que lhe rendeu o Prêmio Nobel de Física.

Com o avanço das pesquisas, surgiram os primeiros meios de contraste iodados na década de 1920, possibilitando o desenvolvimento de angiografias e urografias. Segundo Bontrager e Lampignano (2020), “a introdução dos contrastes revolucionou o estudo de estruturas internas antes invisíveis em exames radiográficos simples”. Assim, o campo expandiu-se rapidamente, permitindo maior detalhamento anatômico.

A partir da década de 1940, a radioterapia passou a evoluir como modalidade terapêutica eficiente contra tumores. Bushberg et al. (2012) afirmam que a radioterapia moderna tornou-se possível graças às melhorias na precisão dos feixes de radiação, que permitiram “tratamentos mais seletivos e eficazes, preservando tecidos saudáveis”. Já nos anos 1950, consolidou-se a Medicina Nuclear, baseada no uso de radioisótopos para diagnóstico funcional e terapias específicas. Como descreve Cherry, Sorenson e Phelps (2012), a área introduziu uma “abordagem fisiológica, capaz de visualizar o metabolismo e a funcionalidade dos órgãos”.

Entre as décadas de 1960 e 1970, métodos como fluoroscopia e angiografia foram aperfeiçoados, oferecendo maior segurança e qualidade de imagem. O maior salto tecnológico, porém, ocorreu em 1972 com o desenvolvimento da Tomografia Computadorizada (TC). Hounsfield, criador da técnica, afirmou que a TC permitiu “reconstruir imagens em cortes axiais com precisão inédita” (HOUNSFIELD, 1973). Em 1977, surgiu a Ressonância Magnética (RM), cuja tecnologia baseada no comportamento magnético dos núcleos de hidrogênio revolucionou o estudo dos tecidos moles sem o uso de radiação ionizante.

Nas décadas seguintes, especialmente entre 1980 e 2000, surgiu a radiologia digital, substituindo os filmes tradicionais e permitindo maior agilidade no processamento das imagens. Essa transformação foi acompanhada por sistemas PACS, que facilitaram o armazenamento e compartilhamento digital dos exames. Para Seeram (2019), a radiologia digital inaugurou “uma era de eficiência, padronização e integração informacional”.

No cenário atual, a radiologia vive uma fase marcada pela incorporação de inteligência artificial, algoritmos de detecção precoce, equipamentos de alta resolução e o fortalecimento da radiologia intervencionista. De acordo com European Society of Radiology (2022), a combinação dessas inovações torna a radiologia “uma das áreas mais dinâmicas e estratégicas da medicina contemporânea”.

2.6 MEDICINA NUCLEAR, IMAGEM FUNCIONAL, CINTILOGRAFIA, PET E RADIOFÁRMACOS

A radioatividade possui papel fundamental na Medicina Nuclear, sendo empregada tanto para fins diagnósticos quanto terapêuticos. Essa especialidade permite a avaliação funcional de órgãos e tecidos por meio da administração controlada de fontes radioativas, sem causar danos significativos ao organismo quando utilizadas em doses adequadas.

Os radiofármacos são substâncias que combinam um radionuclídeo a uma molécula biologicamente ativa, direcionando o composto ao órgão ou tecido de interesse. Eles constituem o principal recurso da Medicina Nuclear diagnóstica, correspondendo a aproximadamente 95% dos procedimentos realizados nessa área (KLEIN, 2020; ZIESSMAN, 2015; BORTOLETI, 2008).

Para exames diagnósticos, utilizam-se radiofármacos emissores de radiação gama (γ) ou pósitrons (β^+), chamados radiotraçadores. Administrados em doses subfarmacológicas, esses compostos permitem detectar a radiação externamente, produzindo imagens que refletem o metabolismo e a função dos tecidos (KLEIN 2020)

Os núcleos atômicos empregados podem ser estáveis ou instáveis. Os instáveis, conhecidos como radionuclídeos, emitem radiação durante sua desintegração. A energia dessa emissão, geralmente entre 100 e 511 keV, é adequada para equipamentos como a gama-câmara e a tomografia por emissão de pósitrons (PET). Entre os radionuclídeos mais utilizados, destacam-se o Tecnécio-99m, empregado em exames com gama-câmara, e o Flúor-18, usado em PET (KLEIN, 2020; ZIESSMAN et al., 2015)

A produção dos radionuclídeos ocorre de três formas principais: reatores nucleares, cíclotrons e geradores radioisotópicos (KNAPP; DASH, 2016). Nos reatores, a fissão nuclear é induzida por nêutrons, com sistemas de resfriamento e moderação garantindo segurança operacional. Nos cíclotrons, partículas carregadas

são aceleradas e colidem com alvos estáveis, produzindo radionuclídeos específicos. Já os geradores, como o Molibdênio-99/Tecnécio-99m, permitem a obtenção imediata do radiofármaco por eluição, garantindo sua disponibilidade nos serviços de Medicina Nuclear (KNAPP; DASH, 2016; KLEIN, 2020).

O processo de eluição do pertecnetato consiste na passagem de solução salina pela coluna do gerador, recolhendo o Tecnécio-99m que não se fixa à alumina. Esse procedimento é realizado de forma asséptica pelo tecnólogo em radiologia, assegurando a qualidade do radiofármaco (KLEIN, 2020).

Entre os equipamentos mais utilizados, a gama-câmera destaca-se por gerar imagens funcionais a partir da radiação emitida pelos radiofármacos. Composta por colimador, cristal de cintilação, fotomultiplicadoras, circuito eletrônico e sistema computacional, ela transforma a radiação em sinais elétricos processados em imagens (KLEIN, 2020). Exames comuns incluem cintilografia óssea, cardíaca, cerebral e da tireoide, cada um seguindo protocolos específicos.

A tomografia por emissão de pósitrons (PET) produz imagens tridimensionais com alta definição, sendo especialmente útil para tecidos moles. Quando combinada com tomografia computadorizada (PET/CT ou SPECT/CT), proporciona diagnóstico mais preciso ao integrar informações anatômicas e funcionais. O método baseia-se na detecção de dois fótons emitidos após a aniquilação do pósitron, permitindo reconstrução detalhada da imagem (O'MALLEY, 2015).

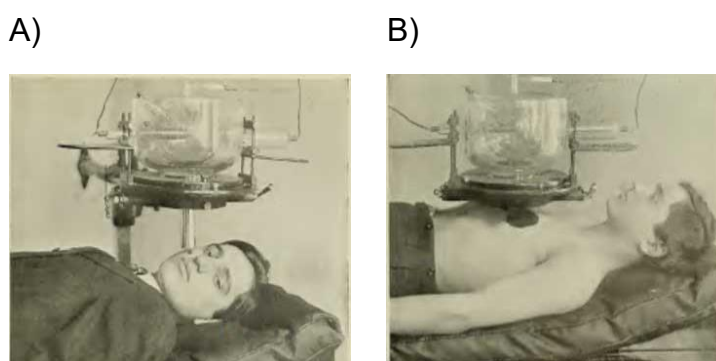
Entre os principais exames, destaca-se a cintilografia óssea, que utiliza MDP marcado com Tecnécio-99m para avaliar alterações osteometabólicas em todo o esqueleto (KLEIN, 2020). A cintilografia de perfusão miocárdica é indicada em casos de dor torácica, suspeita de DAC, infarto e outras condições cardiovasculares, empregando radiofármacos como ^{99m}Tc -Sestamibi e ^{99m}Tc -Tetrofosmina (KLEIN, 2020).

A cintilografia paratireoideana, utilizada para detecção de adenomas e hiperparatireoidismo, apresenta alta sensibilidade e especificidade, utilizando ^{99m}Tc -Sestamibi como traçador, apesar de captar tecidos tumorais de forma inespecífica (ZIESSMAN et al., 2015). Já a cintilografia cerebral é aplicada na avaliação da Doença de Parkinson, sendo empregado o radiofármaco TRODAT-1 marcado com Tecnécio-99m, com imagens adquiridas por SPECT após período específico de biodistribuição (BOOIJ et al., 2001; ZIESSMAN et al., 2015).

2.7 BRAQUITERAPIAS

A braquiterapia configura-se como uma modalidade de radioterapia em que fontes radioativas são posicionadas no interior ou nas proximidades imediatas do tumor, permitindo que doses elevadas de radiação sejam entregues a áreas bem delimitadas, reduzindo significativamente a irradiação de tecidos saudáveis adjacentes (Figura 2). A braquiterapia de alta taxa de dose (BATD) consolidou-se como uma das técnicas mais relevantes da radioterapia contemporânea, sobretudo pela capacidade de administrar radiação a taxas superiores a 0,2 Gy/min, possibilitando tratamentos rápidos, eficazes e predominantemente ambulatoriais (SALVAJOLI, 2001).

Figura 2 – Aplicação inicial da radioterapia por meio da técnica de braquiterapia, utilizada no tratamento de câncer de pele (A) e câncer de mama (B).



Fonte: Sociedade Brasileira de Radioterapia, s.d.

Na década de 1960, Henschke foi responsável por introduzir a braquiterapia com fontes de cobalto associadas a sistemas de comando remoto. Posteriormente, na década de 1980, surgiram as fontes miniaturizadas destinadas aos tratamentos por braquiterapia de alta taxa de dose (BATD). Essas inovações contribuíram para uma ampliação expressiva da flexibilidade da radioterapia, possibilitando sua aplicação em diferentes contextos clínicos. Atualmente, a braquiterapia pode ser utilizada no tratamento de cavidades de pequeno volume, órgãos oco-musculares e áreas intersticiais com lesões existentes ou com potencial de recorrência, por meio da inserção de agulhas e cateteres plásticos (ESTEVES et al., 2004).

Estudos comprovam que a BATD é segura, bem tolerada e clinicamente eficaz, como reportado por Macha et al. (1995), que relatam excelente controle sintomático em centenas de pacientes tratados com braquiterapia endobrônquica, consolidando a técnica como abordagem de escolha no manejo paliativo de tumores pulmonares

obstrutivos; e por Perol et al. (1997), que evidencia potencial de controle prolongado da doença em casos diagnosticados precocemente.

Dessa forma, a braquiterapia constitui uma alternativa terapêutica de grande relevância clínica, especialmente no Brasil, onde o câncer de pulmão apresenta elevada incidência e muitos casos são diagnosticados em estágios avançados. Sua rapidez, precisão e capacidade de promover melhora imediata dos sintomas a consolidam como ferramenta essencial dentro do arsenal terapêutico da radioterapia contemporânea.

3 CONCLUSÃO

A análise apresentada ao longo deste trabalho demonstra que a radioatividade se consolidou como um dos pilares fundamentais da ciência moderna e da área da saúde desde sua descoberta no final do século XIX. A compreensão dos mecanismos de decaimento nuclear, dos diferentes tipos de radiação e de suas propriedades físicas permitiu o desenvolvimento de tecnologias essenciais para a Medicina Nuclear e a Radioterapia, que hoje desempenham papel central tanto no diagnóstico quanto no tratamento de diversas doenças. Os métodos diagnósticos funcionais, como a cintilografia, o SPECT e o PET, mostraram-se capazes de identificar alterações fisiológicas precoces, contribuindo de maneira decisiva para diagnósticos mais precisos e intervenções terapêuticas eficazes, especialmente no manejo de patologias oncológicas, neurológicas e cardiovasculares. No campo terapêutico, a evolução das técnicas de radioterapia externa, braquiterapia e terapia com radioisótopos, como o iodo-131, evidenciou avanços significativos no controle tumoral e na redução dos danos aos tecidos saudáveis. Conclui-se, assim, que, embora a radioatividade envolva riscos que demandam atenção permanente, seus benefícios superam amplamente tais limitações quando empregada de forma segura e tecnicamente adequada. O investimento em infraestrutura, formação profissional e políticas públicas é imprescindível para garantir que as tecnologias baseadas em radiações ionizantes continuem evoluindo e ampliando suas contribuições para a promoção da saúde e a melhoria da qualidade de vida da população.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, Carl D. **The positive electron**. Physical Review, New York, v. 43, n. 6, p. 491–494, 1933.
- ANGER, Hal O. **Scintillation camera**. Review of Scientific Instruments, New York, v. 29, n. 1, p. 27–33, 1958.
- AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA ATÔMICA (IAEA). **Nuclear medicine in diagnosis and therapy**. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2008.
- BECQUEREL, Henri. **Sur les radiations émises par phosphorescence**. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, v. 122, p. 420–421, 1896.
- Oncology, Biology, Physics, New York, v. 95, n. 4, p. 1050–1058, 2016.
- BONTRAGER, Kenneth L.; LAMPIGNANO, John P. **Textbook of radiographic positioning and related anatomy**. 9. ed. St. Louis: Elsevier, 2020.
- BOOIJ, J. et al. **Imaging of dopamine transporters with technetium-99m TRODAT-1 SPECT in patients with Parkinson's disease**. Journal of Nuclear Medicine, v. 42, n. 4, p. 493–502, 2001.
- BORTOLETI, Alberto. **Medicina nuclear: princípios e aplicações clínicas**. São Paulo: Atheneu, 2008.
- BUSHBERG, Jerrold T.; SEIBERT, J. Anthony; LEIDHOLDT JUNIOR, Edwin M.; BOONE, John M. **The essential physics of medical imaging**. 3. ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2012.
- CHADWICK, James. **Possible existence of a neutron**. Nature, London, v. 129, p. 312, 1932.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). **Normas de segurança e proteção radiológica**. Rio de Janeiro: CNEN, 2020.
- CHERRY, Simon R.; SORENSON, James A.; PHELPS, Michael E. **Physics in nuclear medicine**. 4. ed. Philadelphia: Saunders/Elsevier, 2012.
- CNEN. **Diretrizes básicas de proteção radiológica**. Rio de Janeiro: Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2014.
- CURIE, Marie; CURIE, Pierre. **Sur une substance nouvelle radio-active, contenue dans la pechblende**. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, v. 127, p. 175–178, 1898.
- EUROPEAN SOCIETY OF RADIOLOGY. **The future of radiology in Europe**. Vienna: ESR, 2022.

ESTEVEES, S. C.; SALVAJOLI, J. V.; NOVAES, P. E. R. S. **Radioterapia**. São Paulo: Atheneu, 2004.

GIOVANELLA, Lígia et al. **Política e sistema de saúde no Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2019.

GLASS, W. A.; McGOVERN, J. J.; RUBIN, P. **The early history of radiation therapy**. In: RUBIN, P.; CASARETT, G. W. (org.). *Clinical radiation pathology*. Philadelphia: W. B. Saunders, 2004. p. 3–25.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HEVESY, George de. **Radioactive indicators**. *Nature*, London, v. 115, p. 67–69, 1923.

HOUNSFIELD, Godfrey N. **Computerized transverse axial scanning (tomography)**. *The British Journal of Radiology*, London, v. 46, n. 552, p. 1016–1022, 1973.

IPEN. **Rejeitos radioativos**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2021.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). **Nuclear medicine resources manual**. Vienna: IAEA, 2009.

JOLIOT-CURIE, Frédéric; JOLIOT-CURIE, Irène. **Artificial production of a new kind of radio-element**. *Nature*, London, v. 133, p. 201–202, 1934.

KLEIN, Armin. **Radiopharmaceuticals in nuclear medicine**. Cham: Springer, 2020.

KNAPP, Fred F.; DASH, Ashutosh. **Radiopharmaceuticals for therapy**. New Delhi: Springer, 2016.

LAWRENCE, Ernest O.; LIVINGSTON, Milton S. **The production of high speed light ions without the use of high voltages**. *Physical Review*, New York, v. 40, p. 19–35, 1932.

MACHA, H. N. et al. **Endobronchial radiation therapy for palliation of lung cancer**. *Chest*, Chicago, v. 107, n. 1, p. 90–95, 1995.

MEITNER, Lise; FRISCH, Otto R. **Disintegration of uranium by neutrons**. *Nature*, London, v. 143, p. 239–240, 1939.

OEHLER, Christian; ZWAHLEN, Daniel; TAUSSKY, Daniel. **Theranostics in nuclear medicine**. Cham: Springer, 2025.

O'MALLEY, James P. **Nuclear medicine and PET/CT: technology and techniques**. Philadelphia: Elsevier, 2015.

PEROL, M. et al. Endobronchial brachytherapy for lung cancer. **Radiotherapy and Oncology**, v. 44, n. 2, p. 131–135, 1997.

PODGORSAK, Ervin B. **Radiation oncology physics**: a handbook for teachers and students. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2005.

RAMALHO, Francisco; NICOLAU, Nicolau Gilberto Ferraro; TOLEDO, Paulo Antônio de. **Física**. São Paulo: Moderna, 2009.

RÖNTGEN, Wilhelm Conrad. **Über eine neue Art von Strahlen**. Würzburg, v. 9, p. 132–141, 1895.

SALVAJOLI, B. P. **Radioterapia**. São Paulo: Atheneu, 2012.

SEERAM, Euclid. **Digital radiography: physical principles and quality control**. 2. ed. Cham: Springer, 2019.

TAUHATA, Luiz et al. **Radioproteção e dosimetria**: fundamentos. Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2003.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

UNSCEAR. **Sources, effects and risks of ionizing radiation**. New York: United Nations, 2021.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física universitária com física moderna**. 14. ed. São Paulo: Pearson, 2017.

ZIESSMAN, Harvey A.; O'MALLEY, James P.; THRALL, James H. **Nuclear medicine: the requisites**. 4. ed. Philadelphia: Elsevier, 2015.