



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE CIÊNCIAS MÉDICAS E DA VIDA
CIÊNCIAS BIOLÓGICAS BACHARELADO

MARIA EDUARDA CEROZINO SANTOS RIOS

**IMPACTO E CARACTERIZAÇÃO DOS ESTUDOS NACIONAIS SOBRE OS
EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE**

GOIÂNIA

2025

MARIA EDUARDA CEROZINO SANTOS RIOS

**IMPACTO E CARACTERIZAÇÃO DOS ESTUDOS NACIONAIS SOBRE OS
EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola De Ciências Médicas e da Vida da
Pontifícia Universidade Católica de Goiás – PUC
Goiás, como requisito necessário para obtenção
do Título de Bacharelado em Ciências Biológicas.

Orientadora: Profa. Dra. Flávia Melo Rodrigues

GOIÂNIA

2025

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
CIÊNCIAS BIOLÓGICAS BACHARELADO**

BANCA EXAMINADORA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aluna: Maria Eduarda Cerozino Santos Rios

Orientadora: Profa. Dra. Flávia Melo Rodrigues

Membros:

1. DR. CLAUDIO CARLOS DA SILVA

2. DR. DARLAN TAVARES FEITOSA

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, por terem me dado a oportunidade de fazer faculdade, além de me incentivarem a estudar sempre. À Michelly Cerozino, minha mãe, por ser a minha maior inspiração que sempre me apoiou e me ajudou sempre. À Alexandre Cerozino, meu pai, que sempre esteve junto de nós e se esforçou a todo momento para que eu pudesse me dedicar completamente a faculdade. E ao meu irmão, Luiz Henrique Cerozino, meu neném, que sempre esteve em meus pensamentos durante todo esse tempo.

Agradeço aos meus amigos e colegas, estivemos juntos durante todo esse tempo apoiando e ajudando uns aos outros. Sou grata a toda dedicação e amizade de todos. Aos meus professores que me ensinaram com tanto carinho e atenção. E especialmente à minha orientadora, que me ajudou, incentivou e sempre foi paciente comigo acreditando em meu potencial.

A todos que carrego um profundo carinho, minha eterna gratidão pois também fazem parte do que me tornei, e com vocês eu compartilho essa conquista.

Agradeço também ao Vestibular Social PUC Goiás, por proporcionar a oportunidade de ingressar na graduação de uma universidade conceituada, ao fundo de Financiamento Estudantil (Fies), uma ação do Governo Federal destinada a financiar a graduação de estudantes, por poder me oferecer a oportunidade de realizar a graduação.

RESUMO

A radiação ionizante, possuir uma alta periculosidade é necessário a utilização de métodos e EPIs de proteção, estes métodos de proteção são obrigatórios em locais como ambientes médicos e nucleares, dessa forma há a necessidade de conhecer, entender e caracterizar criticamente a produção científica a cerca dessa temática. Este estudo teve como objetivo realizar uma revisão sistemática integrativa da literatura dos estudos nacionais sobre radiação ionizante e suas implicações celulares. Foram selecionados dez artigos científicos, publicados entre 2020 e 2024, publicados no Brasil, utilizando a base de dados Scopus. O estudo destaca que as publicações selecionadas se dividiam em quatro temas principais como a resistência à radiação no glioblastoma, a resposta a danos no DNA em protozoários, os efeitos da radiação em modelos experimentais e os danos por radiação de diagnóstico. A análise também possibilita a observação da dominância da região sudeste em relação às publicações, assim como o destaque da Universidade de São Paulo (USP). De modo geral, os estudos evidenciaram a existência de uma lacuna na produção científica nacional nas demais regiões do país, refletindo o baixo investimento em pesquisas, uma vez que, estudos nessa área necessitam de laboratórios, equipamentos, pesquisadores especializados e um alto investimento para a devida realização da produção científica.

Palavras-chave: Brasil; radiações; revisão integrativa; produção científica.

ABSTRACT

Given its highly hazardous nature, the use of protective methods and personal protective equipment (PPE) is essential when dealing with ionizing radiation. These protective measures are mandatory in settings such as medical and nuclear environments. Therefore, it is necessary to know, understand, and critically analyze the scientific literature on this topic. This study aimed to conduct an integrative systematic review of the literature on national studies investigating ionizing radiation and its cellular implications. Ten scientific articles, published between 2020 and 2024 in Brazil, were selected from the Scopus database. The study highlights that the selected publications were divided into four main themes: radiation resistance in glioblastoma, the DNA damage response in protozoa, the effects of radiation on experimental models, and damage from diagnostic radiation. The analysis also reveals the dominance of the Southeast region in terms of publications, with the University of São Paulo (USP) being the most prominent institution. Overall, the studies highlight a gap in national scientific production in other regions of the country, reflecting the low investment in research, since studies in this area require laboratories, equipment, specialized researchers, and significant funding for the proper execution of scientific production.

Keywords: Brazil; radiation; integrative review; scientific production.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	08
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 METODOLOGIA	15
4 RESULTADOS	16
5 DISCUSSÃO	21
6 CONCLUSÃO	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1 INTRODUÇÃO

A descoberta de raios que atravessavam objetos e deixavam impressões em chapas fotográficas, foi em 1895 pelo alemão Wilhelm Conrad Röntgen, no qual era reitor da Universidade Wurzburg. Röntgen conduzia experimentos no laboratório de sua casa onde a partir de seus fundamentos científicos de suas pesquisas em um acaso descobriu o raio-X. Na o professor Röntgen, pesquisava tubos de raios catódicos, com um tubo de vidro dentro era um condutor metálico que quando aquecido emitia eletros em direção a outro condutor. No final desse mesmo ano, o professor alemão conduziu um experimento onde ele deixou a mão de sua esposa exposta à radiação que atravessou pela mão dela e atingiu uma chapa fotográfica na qual ao ser revelada podiam ser vistas as sombras dos ossos, e está é considerada a primeira radiografia da história (Nossa Capa, 2009). Na época ainda confuso com sua descoberta Röntgen decidiu chamar os raios de "X", utilizado por ser o símbolo usado na ciência para indicar o desconhecido, a divulgação dessa descoberta foi no início de 1896, e teve uma enorme repercussão assim com interesse por parte de vários cientistas com o passar do tempo (Martins, 1990).

Ainda em 1896, como o tema radiação estava em alta, vários pesquisadores acabaram se interessando pelo tema, em meio a esses diversos trabalhos, Henri Becquerel descreveu uma substância fosforescente que emitia radiações penetrantes que eram semelhantes ao raio-X. Essa radiação era emitida por meio de compostos de urânio, e posteriormente confirmou-se que a radiação do urânio era de natureza eletromagnética, semelhante à luz e sua emissão diminuía lentamente no escuro, como uma fosforescência invisível de longa duração, Becquerel chamava essa radiação de “raios do urânio” (Martins, 1990). Já no início de 1898 o pesquisador Gerhard Carl Nathaniel Schmidt, utilizando o método elétrico para estudar diversas possíveis radiações, conseguiu diferenciar as radiações do urânio de efeitos espúrios e descobriu a emissão de radiação pelo tório (Martins, 2003).

No final de 1897, Marie Sklodowska Curie iniciou seu doutorado em física com o tema escolhido para a tese foi estudo das radiações do urânio, através também do método elétrico (Martins, 1990). Nessa época, Curie descobriu a emissão de radiações penetrantes pelo tório, logo no início de suas pesquisas, no final de 1897, o estudo da condutividade do ar produzida pelos raios do urânio era feito com aparelhagem muito simples, empregando um eletrômetro e um cristal piezelétrico. Na

época, o estudo de radiação de Becquerel era um assunto pouco explorado e considerado não muito importante, então seria o tema adequado para uma tese de uma pesquisadora iniciante, inicialmente era um estudo padrão, que seria de reproduzir para os raios do urânio o mesmo tipo de estudo que já fora feito para os raios X. O uso da técnica elétrica permitia obter resultados mais rápidos do que o método fotográfico e fornecia medidas numéricas, comparáveis entre si (Martins, 2003).

A pesquisa de Curie foi desenvolvida após a autorização do diretor da École Municipale de Physique et de Chimie Industrielles, de Paris, Charles Schützenberger, Curie conseguiu utilizar um canto de uma sala que servia de casa de máquinas e depósito, pois era o único local disponível para seu trabalho. Em sua pesquisa inicial de Marie Curie, fez uma busca sistemática por outros elementos, além do urânio, que fossem capazes de emitir radiações semelhantes. De acordo com Martins (2003), a própria Marie escreveu, em 1899:

“Após os trabalhos do Sr. Becquerel, era natural perguntar-se se o urânio é o único metal que desfruta de propriedades tão particulares. O Sr. Schmidt estudou sob esse ponto de vista um grande número de elementos e de seus compostos; ele encontrou que os compostos do tório são os únicos dotados de uma propriedade semelhante. Fiz um estudo do mesmo tipo, examinando compostos de quase todos os corpos simples atualmente conhecidos [...]; cheguei ao mesmo resultado que o Sr. Schmidt”

(Martins, 2003).

Em três cadernos de laboratório de Curie que foram conservados, estavam descritos experimentos a partir de 1897 até 1900, com a utilização desses cadernos foi possível verificar o início de seus experimentos e as metodologias utilizadas. Nos cadernos, é relatado que os dois primeiros meses de trabalho, a maior parte das medidas era simplesmente uma reprodução de experimentos já realizados a respeito da condução do ar produzida por raios X, no qual Curie registrou os seguintes resultados:

aquecimento não aumenta a intensidade da radiação do urânio e a iluminação e irradiação com raios X não aumentam a radiação do urânio (Martins, 2003).

O segundo resultado obtido por Marie Curie, era o estudo de diferentes substâncias, comparando-as com o urânio, examinando um grande grupo de metais (cobre, zinco, chumbo, estanho, platina, ferro, ouro, paládio, cádmio, antimônio, molibdênio, tungstênio) e observou que nenhum deles produzia condutividade no ar. Depois foi analisado um mineral pechblenda e uraninita e foi observado que a corrente elétrica observada com a pechblenda era maior do que no caso do urânio metálico puro, e a conclusão foi que havia algum outro elemento que emitia radiações como as do urânio e tratava-se de um elemento raro. Já no seu primeiro artigo publicado, Marie Curie apresenta a hipótese da natureza atômica da radiação. Logo após todos os meses de pesquisas, já em meados de 1898 o nome “radioatividade” foi proposto por Curie, por meio de elementos radioativos rádio e polônio, no qual possui uma grande relevância, para o desenvolvimento da radioterapia e da compreensão da estrutura do átomo, assim como foi descrito o fenômeno de emissão de radiação por elementos químicos (Altman, 2015; Nogueira, 2020).

A radiação ionizante em específico foi descoberta de modo acidental por Becquerel em 1896 enquanto pesquisava um composto de urânio que expunha um filme fotográfico mesmo quando não estava exposto à luz solar, indicando a emissão de radiação que conseguia atravessar o papel opaco (GOVBR, 2023). Os exemplos de fontes naturais de radiação ionizante são os raios cósmicos e os radionuclídeos provenientes da crosta terrestre, no qual também podem ser encontrados no solo, tanto em rochas, materiais de construção, na água potável e até mesmo no corpo humano (Nouailhetas, 2025).

A radiação ionizante é o tipo de radiação que possui energia o suficiente capaz de ionizar átomos e moléculas gerando íons, esse tipo de radiação é o mesmo do raio-X e possui capacidade de penetrar tecidos humanos e se tornou uma ferramenta poderosa tanto na medicina diagnóstica quanto terapêutica. Um exemplo bem visto de radiações naturais é o radônio, um gás natural que não possui cheiro, cor ou sabor e tendem a se concentrar em ambientes fechados, como minas subterrâneas, residências ou locais de trabalho, e se inalado é depositado no trato respiratório e está associado ao câncer de pulmão, sendo a segunda causa depois do tabagismo, e a maneira de prevenção seria a manutenção de ambientes ventilados para evitar a

concentração desse gás, o nível de risco é proveniente da exposição ou até mesmo da dose e duração da exposição (Redação Portal Telemedicina, 2025).

Os efeitos biológicos da radiação estão relacionados com a capacidade de ela provocar ionização na matéria com a qual interage, e com a capacidade de arrancar elétrons da matéria, criando íons. A eficiência para produzir ionização, como já foi visto, é diferente para os tipos de radiação, obedecendo à seguinte ordem decrescente: alfa, beta, gama. O ser vivo ao ser irradiado, parte da energia radiação é absorvida pelos átomos do ser irradiado. E o efeito físico da radiação que consiste em ionização ou excitação de átomos. A síndrome aguda da radiação é o conjunto de sinais e sintomas apresentados pelo paciente que sofreu uma dose elevada de exposição à radiação em um curto intervalo de tempo. Com o reconhecimento a quantidade da dose recebida é possível prever qual será o sistema biológico afetado (Martins, 2003).

Os principais efeitos a saúde são divididos em dois sendo os efeitos agudos e crônicos, os efeitos agudos geralmente causam náuseas, fraqueza, perda de cabelo, queimaduras na pele ou diminuição da função orgânica, os pacientes tratados com radiação frequentemente experimentam os efeitos agudos, devido à exposição em altas doses. Já os efeitos crônicos geralmente a radiação pode causar alterações no DNA, um exemplo disso é o câncer causado pelo efeito da exposição à radiação (Martins, 2003).

A radiação ionizante por ser perigosa devido aos seus efeitos nocivos, a exposição mesmo em baixas doses pode causar danos ao DNA, assim aumentando o risco de desenvolvimento de câncer. A legislação trabalhista brasileira considera a exposição à radiação ionizante como uma atividade perigosa, conferindo ao trabalhador direito a um adicional de periculosidade, de acordo com a portaria Nº 3.393 de 1987, dispunha que o trabalho com substâncias radioativas e radiação ionizante conferiam ao trabalhador o direito ao adicional de periculosidade, a exposição ionizante é um risco que deve ser minimizado e controlado, por esse motivo a legislação trabalhista brasileira estabelece mecanismos para garantir a segurança dos trabalhadores expostos a esse agente perigoso. De acordo com a Resolução De Diretoria Colegiada Nº 611 de 2022, a ANVISA estabelece os requisitos sanitários para radiologia diagnóstica ou intervencionista e regulamenta o controle das

exposições médicas, ocupacionais e do público decorrentes do uso de tecnologias radiológicas diagnósticas ou intervencionistas (ANVISA – RDC N° 611, 2022).

A radiação ionizante interage com as células por meio de processos físicos, químicos e biológicos, gerando efeitos diversos que variam a partir da exposição e dose. A radiação ionizante retira elétrons de átomos, criando íons e radicais livres que acabam danificando moléculas críticas, como o próprio DNA. Partículas alfa (núcleos de hélio) e beta (elétrons), causam ionização classificada como ionização direta, enquanto raios X e gama induzem danos classificados como indiretos por meio de radicais hidroxila formados na água celular (Koifman, 2013). Os efeitos podem ser divididos em dois, sendo eles efeitos estocásticos e efeitos determinísticos, o primeiro efeito o estocástico ocorrem de forma aleatória sem um limite de dose mínima, como mutações genéticas e câncer, um exemplo bem conhecido é a exposição a radônio, um gás radioativo no qual está ligado diretamente ao câncer de pulmão, mesmo que a exposição a ele seja em baixas doses (INCA, 2023). Já os efeitos determinísticos são efeitos dependentes da dose, se ultrapassar essa quantidade da dose considerada o limite, é possuem efeitos como queimaduras na pele ou até mesmo a síndrome aguda da radiação que pode causar náuseas ou até mesmo a perda de cabelo (Koifman, 2013; INCA, 2023).

Um exemplo dos efeitos biológicos causados pela radiação foi o acidente de Goiânia em 1987, que foi ocasionado pela contaminação a partir do vazamento de cézio-137, sendo o resultado da falta de fiscalização na coleta de maquinário hospitalar que estava abandonado, e como resultado acabou expondo centenas de pessoas a doses elevadas de radiação. Os estudos realizados na época analisaram efeitos agudos como queimaduras e morte celular, assim como também foi analisado efeitos crônicos como o aumento de leucemias e até mesmo câncer de tireoide, o que acabou de certa forma fazendo com que houvesse a necessidade de protocolos de segurança com relação a metodologia de como lidar com maquinários antigos e até mesmo na fiscalização e prevenção de acidentes (INCA, 2023).

Pesquisas com focos em materiais que possuem radiação foram feitas e ao exemplo de pesquisas utilizando radônio, foi feita uma investigação sobre a exposição residencial ao radônio e sua relação ao câncer de pulmão, o que destacou que a ventilação do local como medida preventiva. Assim como estudo sobre o máximo de dose aplicada em tumores e mínimo de radiação em tecidos saudáveis por meio de

prótons ou nêutrons focados em metodologias da otimização da radioterapia (Koifman, 2013).

A utilização da radiação ionizante apesar de perigosa, quando utilizada de forma e na dose correta pode ser aplicada na medicina e em terapias, como por exemplo na realização de radioterapias e topográficas no qual por meio do raio-X permite a análise interna. A radioterapia também muito utilizada na medicina utiliza de raios gama e partículas beta que causam a destruição de células cancerosas (Luza, 2023).

A utilização dessas radiações ionizante, por sua periculosidade é necessária métodos e EPIs de proteção, um exemplo disso é a utilização aventais de chumbo de salas específicas com paredes reforçadas com concreto são padrão onde ficam os maquinários de raio-X, esses métodos de proteção são obrigatórios em locais como ambientes médicos e nucleares, por esse motivo a RDC 611/2022 da ANVISA exige programas de qualidade de garantia de qualidade e treinamento anual para profissionais, visando reduzir exposições ocupacionais (CNEN, 2014).

Diante do exposto durante a pesquisa, existe uma variedade enorme de pesquisas relacionadas ao tema, é fundamental estudar a produção científica sobre o tema para compreender o estado atual do conhecimento, identificar lacunas e direcionar pesquisas futuras com base em evidências. Portanto, há a necessidade de conhecer, entender e caracterizar criticamente a produção científica existente, dessa forma torna-se ainda mais relevante ao considerar o contexto nacional, permitindo avaliar a contribuição regional com a inovações recentes. Assim, é possível avaliar com uma revisão sistemática integrativa de forma qualitativa os estudos nacionais sobre radiação ionizante e suas implicações celulares.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar uma revisão sistemática integrativa da literatura dos estudos nacionais sobre radiação ionizante e suas implicações celulares.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar as publicações nacionais que abordam a temática da radiação ionizante, por meio de critérios sistemáticos de busca e seleção na literatura científica na base de dados Scopus;
- Caracterizar os estudos pelos seus autores, ano, título e periódico;
- Descrever os objetivos principais apresentados nos estudos selecionados e o número de citações;
- Elencar as publicações por Estados/regiões e instituições nacionais que possuem mais publicações dentro do tema e;
- Classificar os estudos quanto ao seu impacto científico.

3 METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão sistemática integrativa relacionadas a pesquisa descritiva e qualitativa. As etapas de uma revisão sistemática integrativa incluem os seguintes passos: 1- Formulação da Questão de Pesquisa; 2- Desenvolvimento do Protocolo com os critérios de inclusão e exclusão, estratégias de busca da literatura, métodos de seleção e avaliação dos estudos incluídos, além da abordagem de síntese dos resultados; 3- Busca da Literatura na base de dados bibliográfica Scopus utilizando termos de busca; 4- Seleção dos Estudos aplicando os critérios de inclusão e exclusão; 5- Avaliação Crítica dos Estudos; 6- Extração e Síntese dos Dados; 7- Interpretação dos Resultados à luz da questão de pesquisa original; 8- Relatório da revisão com documentação completa de todos os aspectos da revisão (Souza *et al.*, 2010).

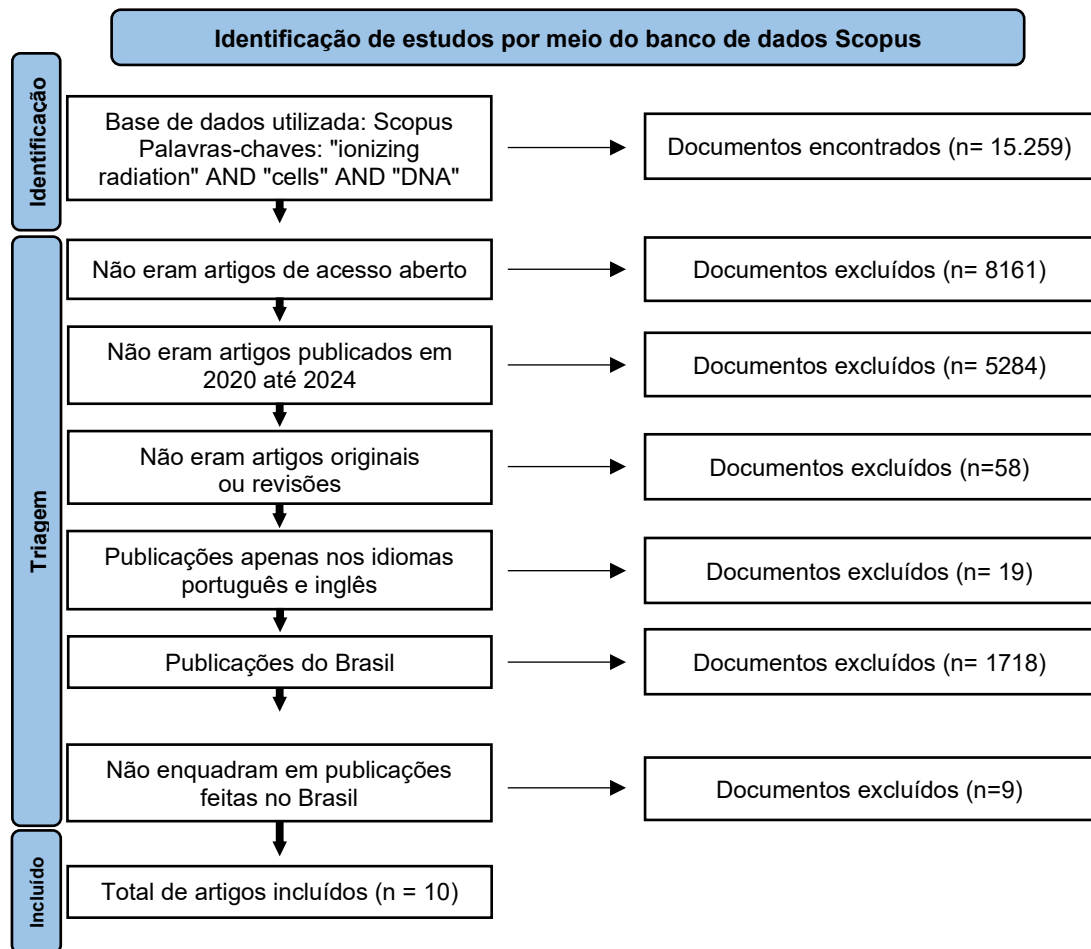
A busca dos estudos ocorreu na base de dados Scopus, por ser atualmente o maior banco de dados bibliográficos disponível no mundo, já utilizado anteriormente em pesquisas com o mesmo tema com foco global, os dados coletados de maneira prévia e complementados no período de junho de 2025 com recorte nacional. Os termos utilizados na busca dos artigos foram: "ionizing radiation" AND "cells" AND "DNA". Essa busca foi realizada nos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos indexados na Scopus. Os critérios de inclusão adotados foram: artigos de acesso aberto, desenvolvidos por pesquisadores brasileiros, artigos originais ou revisão publicados entre os anos de 2020 até 2024, publicações nos idiomas português e inglês. E foram excluídos os estudos que não atenderem aos seguintes critérios: artigos duplicados, estudos que fogem ao tema proposto, sem resumo disponível, acesso fechado ao texto completo, publicações em forma de livro ou capítulo, resumos de congresso, cartas, artigos em idiomas diferentes do inglês e português.

Após a triagem e seleção dos estudos, as informações foram organizadas em planilhas, tabulados quanto ao ano de publicação; autores; Estado/região; instituição; tipo de pesquisa; área de aplicação, periódico que foi publicado; número de citações e os principais objetivos. Os dados foram analisados por meio interpretação e buscas de padrão entre eles. Foram construídas tabelas para descrever os resultados. Portanto, foi utilizado o método de redução, exposição e comparação e verificação dos dados, para a identificação de áreas de interesse e hotspots relacionados ao tema de pesquisa.

4 RESULTADOS

O processo da seleção das publicações, foi realizado de forma sucessiva, iniciou-se com um total de 15259 publicações. A sequência de filtros aplicados foram: acesso aberto excluindo 8161 publicações, durante o período de 5 anos 2020-2024 excluindo 5284 publicações, original ou resumo excluindo 58 publicações, português e inglês excluindo 19 publicações. Em seguida, delimitou-se o filtro de seleção por país de afiliação Brasil, excluindo 1718 que não se encaixavam nos critérios, no qual resultou em 19 publicações. Após a leitura na íntegra dos títulos e resumos aplicando os critérios de inclusão foram excluídas 9 publicações que não foram realizadas principalmente no Brasil, restando assim 10 publicações no total (Figura 1).

Figura 1 – Fluxograma PRISMA do número total de publicações encontrados e selecionados após utilizar os critérios de inclusão e exclusão sobre publicações relacionadas ao tema radiação ionizante no Brasil.



Fonte: Adaptado de Page et al., 2021.

A análise dos artigos escolhidos, possui uma diversidade de autores, anos de publicação e periódicos. A contabilização foi realizada a partir da quantidade de vezes que os anos e os autores estão citados entre os 10 artigos analisados. Com relação aos anos, as publicações variaram entre os anos de 2020 e 2024, sendo as três publicações nos anos de 2020, duas publicações em 2021, duas publicações em 2022, duas publicações no ano de 2023 e uma única publicação no ano de 2024. Quanto aos autores quatro possuem mais de 1 publicação, entre eles a pesquisadora Anna Paula Arpini que possui duas publicações selecionadas, além dela também tem Andrea Rocha de Lorenzo que possui duas, o pesquisador Glauber Monteiro Dias também possui duas publicações selecionadas, e por fim o pesquisador Carlos Renato Machado também com duas citações. O que pode ser observado nessa análise foi que os autores Arpini, Lorenzo e Dias publicaram dois estudos em colaboração (Arpini *et al.*, 2022; Lorenzo *et al.*, 2024). Nenhum periódico apresentou mais de uma publicação. (Tabela 1).

Tabela 1 – Dados sobre os autores, título e periódicos de cada publicação selecionada com o tema de radiação ionizante nas quais foram feitas no Brasil.

Autor, ano	Título	Periódico
Magalhaes <i>et al.</i> , 2023	Downregulation of the Rho GTPase pathway abrogates resistance to ionizing radiation in wild-type p53 glioblastoma by suppressing DNA repair mechanisms	Cell Death and Disease
Serafim <i>et al.</i> , 2021	Expression Profiling of Glioblastoma Cell Lines Reveals Novel Extracellular Matrix-Receptor Genes Correlated With the Responsiveness of Glioma Patients to Ionizing Radiation	Frontiers in Oncology
Morás <i>et al.</i> , 2021	Recent developments in drug delivery strategies for targeting DNA damage response in glioblastoma	Life Sciences
Marin <i>et al.</i> , 2020	ATR Kinase Is a Crucial Player Mediating the DNA Damage Response in <i>Trypanosoma brucei</i>	Frontiers in Cell and Developmental Biology
Trevisan <i>et al.</i> , 2020	Apoptosis related microRNAs and MGMT in glioblastoma cell lines submitted to treatments with ionizing radiation and temozolomide	Reports of Practical Oncology and Radiotherapy
Righi <i>et al.</i> , 2020	Exposure of <i>Deinococcus radiodurans</i> to both static magnetic fields and gamma radiation: observation of cell recuperation effects	Journal of Biological Physics
Rovani <i>et al.</i> , 2023	Analysis of nuclear maturation, DNA damage and repair gene expression of bovine oocyte and cumulus cells submitted to ionizing radiation	Animal Reproduction
Arpini <i>et al.</i> , 2022	Evaluation of DNA damage induced by ionizing radiation from myocardial perfusion imaging: a pilot study	BMC Cardiovascular Disorders
Lorenzo <i>et al.</i> , 2024	DNA damage and repair in patients undergoing myocardial perfusion single-photon emission computed tomography	Scientific Reports
Silva <i>et al.</i> , 2022	Specific Human ATR and ATM Inhibitors Modulate Single Strand DNA Formation in <i>Leishmania major</i> Exposed to Oxidative Agent	Frontiers in Cellular and Infection Microbiology

Fonte: Próprio autor, 2025.

A partir da análise dos objetivos dispostos nas publicações é possível observar que existem quatro temas principais entre os dez artigos selecionados, nos quais são a resistência à radiação no glioblastoma, a resposta a danos no DNA em protozoários, os efeitos da radiação em modelos experimentais e os danos por radiação de diagnóstico (Tabela 2).

Tabela 2 – Dados sobre os autores e objetivos de cada publicação selecionada com o tema de radiação ionizante nas quais foram feitas no Brasil.

Autor, ano	Objetivos
Magalhaes <i>et al.</i> , 2023	Investigar como a downregulação da via da Rho GTPase afeta a resistência à radiação ionizante em glioblastoma com p53 selvagem, suprimindo mecanismos de reparo de DNA, e explorar a interdependência entre a via de Rho, a dinâmica do citoesqueleto de actina e o status de p53 na resposta ao dano ao DNA e na resistência terapêutica.
Serafim <i>et al.</i> , 2021	Identificar e caracterizar assinaturas de expressão gênica em linhagens celulares de glioblastoma (GBM) relacionadas à resistência à radiação ionizante, com foco em genes da via de interação matriz extracelular-receptor (ECM receptor), e correlacionar esses achados com a resposta à radioterapia em pacientes com glioma.
Morás <i>et al.</i> , 2021	Discutir estratégias recentes de sistemas de liberação de fármacos para direcionar a resposta ao dano no DNA (DDR) no tratamento do glioblastoma, com foco em superar a resistência terapêutica, a barreira hematoencefálica e a toxicidade sistêmica.
Marin <i>et al.</i> , 2020	Investigar o papel da quinase ATR na resposta a danos no DNA (especificamente quebras de dupla-fita induzidas por radiação ionizante) em <i>Trypanosoma brucei</i> , com foco em checkpoints do ciclo celular, parada da força de replicação, fosforilação da histona H2A e recrutamento e regulação da proteína RAD51.
Trevisan <i>et al.</i> , 2020	Avaliar os efeitos da radioterapia e da quimioterapia na expressão de microRNAs envolvidos no processo apoptótico, bem como na expressão do gene MGMT, abrindo novas possibilidades para o tratamento de pacientes com glioblastomas multiformes (GBM).
Righi <i>et al.</i> , 2020	Investigar os efeitos da exposição da bactéria <i>Deinococcus radiodurans</i> a campos magnéticos estáticos (SMF) após irradiação gama, com foco na recuperação celular e no aumento da viabilidade celular por meio de mecanismos físicos estocásticos que facilitam a reassociação de fragmentos de DNA.
Rovani <i>et al.</i> , 2023	Investigar os efeitos de doses terapêuticas de radiação ionizante (utilizadas no tratamento de câncer de ovário em humanos) em complexos cumulus-oócitos bovinos, avaliando a maturação nuclear dosócitos, a presença de γ H2AX (indicativo de quebras de dupla fita no DNA), e a expressão de genes envolvidos em reparo de DNA e apoptose nas células do cumulus.
Arpini <i>et al.</i> , 2022	Avaliar o dano no DNA induzido pela radiação ionizante proveniente de exames de imagem de perfusão miocárdica (MPI) por meio do ensaio do cometa.
Lorenzo <i>et al.</i> , 2024	Avaliar os marcadores de dano e reparo do DNA após a realização de imagem de perfusão miocárdica por tomografia computadorizada de emissão de fóton único (MPS) com o radiotraçador Tc-99m sestamibi.
Silva <i>et al.</i> , 2022	Investigar os mecanismos de resposta a danos no DNA em <i>Leishmania major</i> , com foco no papel da exonuclease 1 (EXO1) e na modulação por inibidores específicos de ATR e ATM humanos, visando compreender como a formação de DNA de fita simples (ssDNA) é regulada frente a agentes oxidativos e radiação ionizante.

Fonte: *Próprio autor*, 2025.

Com relação aos Estados/Regiões onde as publicações selecionadas estão mais presentes é possível observar uma dominância da região sudeste, sendo 8 nas

10 publicações selecionadas, é possível observar que apenas o estado de São Paulo representa 50% das publicações. Já com relação às instituições a que mais se destaca é a Universidade de São Paulo (USP), na qual aparece em 50% dos estudos geralmente em colaboração com outras instituições como Universidade Estadual Paulista (UNESP), União das Faculdades Francanas (UNIFRAN) e Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) (Tabela 3).

Tabela 3 – Dados sobre os estados, regiões e instituições de cada publicação selecionada com o tema de radiação ionizante nas quais foram feitas no Brasil.

Autor, ano	Estado, Região	Instituição
Magalhaes <i>et al.</i> , 2023	São Paulo, Sudeste	USP
Serafim <i>et al.</i> , 2021	São Paulo, Sudeste	UNESP, USP
Morás <i>et al.</i> , 2021	Rio Grande do Sul, Sul	UFCSPA
Marin <i>et al.</i> , 2020	São Paulo, Sudeste	Instituto Butantan
Trevisan <i>et al.</i> , 2020	São Paulo, Sudeste	USP; UNIFRAN
Righi <i>et al.</i> , 2020	São Paulo, Sudeste	USP
Rovani <i>et al.</i> , 2023	Rio Grande do Sul, Sul	UFSM; UFPel; McGill University
Arpini <i>et al.</i> , 2022	Rio de Janeiro, Sudeste	Instituto Nacional de Cardiologia
Lorenzo <i>et al.</i> , 2024	Rio de Janeiro, Sudeste	Instituto Nacional de Cardiologia; UENF
Silva <i>et al.</i> , 2022	Minas Gerais, Sudeste	UFTM; UFMG; USP

Fonte: Próprio autor, 2025.

É possível observar que não houve nenhum periódico que se destacou e as três publicações com mais citações foram Magalhaes *et al.*, (2023) (n = 17), Serafim *et al.*, (2021) (n= 12) e Morás *et al.*, (2021) (n = 9). A média observada foi de 6 citações por publicação. Já sobre o fator de impacto (FI) que é indicador bibliométrico utilizado para avaliar a relevância e o prestígio das revistas, os três maiores FI foram dos estudos de Magalhaes *et al.*, (2023) (FI = 9,6) publicado no periódico Cell Death and Disease, Morás *et al.*, (2021) (FI = 5,1) publicado no periódico Life Sciences e Silva *et al.*, (2022) (FI = 4,8) publicado no periódico Frontiers in Cellular and Infection Microbiology (Tabela 4).

Tabela 4 – Dados sobre os periódicos, número de citações e fator de impacto de cada publicação selecionada com o tema de radiação ionizante nas quais foram feitas no Brasil.

Autor, ano	Periódico	Número de citações	Fator de impacto (2024)
Magalhaes <i>et al.</i> , 2023	Cell Death and Disease	17	9,6
Serafim <i>et al.</i> , 2021	Frontiers in Oncology	12	3,3
Morás <i>et al.</i> , 2021	Life Sciences	9	5,1
Marin <i>et al.</i> , 2020	Frontiers in Cell and Developmental Biology	6	4,3
Trevisan <i>et al.</i> , 2020	Reports of Practical Oncology and Radiotherapy	5	0,7
Righi <i>et al.</i> , 2020	Journal of Biological Physics	4	1,6
Rovani <i>et al.</i> , 2023	Animal Reproduction	3	2,1
Arpini <i>et al.</i> , 2022	BMC Cardiovascular Disorders	2	2,3
Lorenzo <i>et al.</i> , 2024	Scientific Reports	1	3,9
Silva <i>et al.</i> , 2022	Frontiers in Cellular and Infection Microbiology	1	4,8
Média	---	6	3,77

Fonte: Próprio autor, 2025.

5 DISCUSSÃO

Para a realização da pesquisa, foi escolhida a base de dados Scopus. Scopus é a base de dados com o foco em buscas avançadas de publicações globais, lançada em 2004. Essa base de dados possibilita destilar grandes quantidades de informações para chegar aos documentos e informações mais relevantes em menos tempo, com acesso aos conteúdos com links, resumos e informações detalhadas como país de publicação, áreas de conhecimento relacionadas, títulos, autores, periódico de publicação, número de citações e resumos (Scopus, 2015).

Além disso, a base de dados oferece acesso a mais de 92 milhões de registros que datam desde 1823 até os dias de hoje com atualizações diárias, disponibiliza ferramentas avançadas e filtros de pesquisa sofisticados que proporcionam um aumento na eficiência de buscas (Elsevier, 2025). Portanto, explica a quantidade alta de estudos encontrados sobre radiação ionizantes e o seu efeito celular, favorecendo a revisão integrativa quando afunilou o tema para estudos no Brasil permitindo uma qualidade e eficiência na coleta de dados analisados e selecionados para a pesquisa.

Pelos critérios de exclusão e inclusão, na base Scopus os estudos nacionais foram relativamente baixos, isso se dá a partir do cenário atual mundial onde é possível observar por que o Brasil expandiu sua participação e solidificou sua posição entre os 15 maiores produtores de conhecimento do mundo, ocupando o 13º lugar no ranking mundial (Almeida; Rodas; Marques, 2020; Guimarães, 2004).

O recorte de pesquisa se encaixa no período de 2020 até 2024. No ano de 2020, pesquisas científicas utilizavam-se de recursos de anos anteriores não afetados pelo acontecimento global da pandemia de COVID-19 (Petrou, 2020). A partir de 2021, o desenvolvimento de pesquisas teve um maior impacto nas pesquisas ocasionadas por recursos que foram anteriormente reduzidos para a produção científica, refletindo o período de desafios que acabou afetando bolsas e pesquisadores (Navas, 2024).

Quanto aos autores que publicaram mais de um estudo, a pesquisadora Anna Paula Arpini Botelho, é uma biomédica que possui uma sólida formação acadêmica com bacharelado pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO) e se especializou em Vigilância Sanitária e Qualidade de Alimentos pela Descomplica Faculdade Digital em 2024. Já a pesquisadora Andrea Rocha de Lorenzo, é uma cardiologista, com graduação, mestrado e doutorado em Medicina (Cardiologia) pela

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), atua como professora de pós-graduação na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e no Instituto Nacional de Cardiologia (INC), onde também coordena o Núcleo de Inovação Tecnológica. Glauber Monteiro Dias, é um biólogo com mestrado e doutorado em Biociências e Biotecnologia pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), atuou como biólogo no Instituto Nacional de Cardiologia (INC) em 2009, e desde 2020 é professor associado na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), coordenando pesquisas em cardiogenética. Já o Carlos Renato Machado, é um professor titular da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e bolsista de produtividade do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Doutor em Biologia Genética pela Universidade de São Paulo (USP), atua na área de genética com foco em reparo de DNA, estresse oxidativo e biologia molecular de parasitas, e desenvolve pesquisas sobre resposta a danos genéticos, recombinação e mecanismos de resistência (Brasil, 2025).

Quanto aos objetivos dos estudos selecionados, houve uma variação de temas pesquisados. No tema de resistência à radiação no glioblastoma, o estudo de Magalhaes *et al.* (2023) conclui que a via Rho e o citoesqueleto de actina são alvos terapêuticos que podem ser promissores para reverter a radioresistência adquirida em tumores de glioblastomas multiformes (GBM) que possuem p53 wild-type. O estudo de Serafim *et al.* (2021) conclui que a expressão gênica ligada à via de interação Matriz Extracelular-Receptor (ECM-receptor) está conectada com a radioresistência em glioblastoma (GBM). Já o estudo de Morás *et al.* (2021), observou que a combinação de sistemas de entrega de fármacos (DDS) com inibidores da resposta ao dano no DNA (DDR) apresenta uma estratégia promissora para superar a resistência terapêutica no glioblastoma (GBM), permitindo uma administração mais eficaz e localizada de fármacos, reduzindo a toxicidade sistêmica e melhorando os resultados de tratamento. Trevisan *et al.* (2020), concluiu que a radiação ionizante e a temozolomida possuem capacidade de modificar a expressão de microRNAs relacionado a apoptose e do gene MGMT em linhagens celulares de glioblastoma, o que sugere que essas alterações moleculares podem influenciar a resposta ao tratamento e abrir novas perspectivas terapêuticas.

Sobre os estudos que tiveram como objetivos avaliar a resposta a danos no DNA em protozoários, o estudo de Marin *et al.* (2020) concluiu que a proteína Ataxia Telangiectasia e Rad3 (ATR) é um regulador mestre da resposta ao dano no DNA (DDR) neste parasita, sendo essencial para a sua sobrevivência após o stress genotóxico. O estudo de Silva *et al.* (2022) constatou que a modulação da atividade da enzima Exonuclease 1 (LmjEXO1) por vias de sinalização semelhantes a proteína quinase mutada por ataxia-telangiectasia (ATM) e ATR é um mecanismo crítico para a resposta ao dano no DNA no parasita *Leishmania major*.

Nos estudos que pesquisaram sobre efeitos da radiação em modelos experimentais, Righi *et al.* (2020) observa que a exposição de células de *Deinococcus radiodurans* a campos magnéticos estáticos (SMF) após a irradiação gama aumenta significativamente a sua viabilidade celular, atuando como um agente físico exógeno que melhora a eficiência do processo de recuperação celular. Rovani *et al.* (2023), percebeu que embora as doses de radiação utilizadas não tenham comprometido a capacidade dos oócitos de completar a maturação nuclear nem induzido danos ao DNA detectáveis por meio da marcação γ H2AX, houve alterações significativas na expressão de genes relacionados ao reparo de DNA (como RAD52) e à apoptose (como BAX) nas células do cumulus que circundam o oócito. Isso sugere que as células do cumulus são mais sensíveis à radiação em nível molecular e podem ativar mecanismos de resposta ao estresse genotóxico.

Por fim no tema de danos por radiação de diagnóstico, o estudo de Arpini *et al.* (2022), observou que embora a maioria dos linfócitos (aproximadamente 70%), não tenha apresentado fragmentação de DNA detectável após a injeção do radiotraçador para realização de Cintilografia de Perfusão Miocárdica (CPM), foi observado um aumento significativo de 44% na classe de dano mais severa (classe 3), que representa dano completo ao DNA. Já o estudo de Lorenzo *et al.* (2024), conclui que uma única injeção do radiotracer para realização de Cintilografia de Perfusão Miocárdica (MPS), não está associada a danos significativos no DNA, conforme avaliado pelo ensaio do cometa, e que a ativação de apenas dois genes de reparo (BRCA1 e XPC), sugere que qualquer possível dano induzido pela radiação ionizante em baixa dose não foi suficiente para desencadear uma resposta de reparo intensa.

A análise da distribuição geográfica e institucional evidencia um padrão, que é um reflexo de desigualdades históricas e estruturais no sistema brasileiro de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I). A nítida concentração geográfica observada, com a região Sudeste correspondendo por 80% das publicações, chama atenção para uma distribuição assimétrica das atividades científicas entre as unidades federativas brasileiras. Esse fato demonstra o que pode ser chamado de “desigualdades regionais”, onde poucos estados concentram a maior parte da produção de conhecimento. Esta condição não é recente, mas sim resultado de um processo histórico de formação socioespacial que consolidou a região Sudeste como o centro dinâmico da economia nacional, reflexo das “disparidades econômicas e sociais que se reproduzem no âmbito da ciência e tecnologia” (Toledo, 2011).

A análise da distribuição de bolsas de produtividade em pesquisa do CNPq revela que a região Sudeste concentra 55,8% dessas bolsas, com destaque para instituições paulistas, essa concentração de pesquisadores de alta qualificação nas regiões Sul e Sudeste cria um ambiente propício para a formação de redes de colaboração (Guimarães *et al.*, 2020).

A predominância do estado de São Paulo, responsável por 50% das publicações, está intimamente relacionada à sua capacidade institucional para a pesquisa. Enquanto, a maioria dos estados brasileiros apresenta significativa dependência do orçamento federal para investimentos em CT&I, São Paulo conta com um sistema estadual robusto. Isso acaba criando uma assimetria, tornando-se uma condição privilegiada que faz com que o estado mantenha um “ciclo virtuoso” de desenvolvimento científico, onde maiores investimentos geram mais produções e atraindo mais recursos, aprofundando as desigualdades regionais já existentes (Pochmann; Silva, 2020).

Já com relação às instituições, é possível observar que a Universidade de São Paulo (USP), presente em 50% dos estudos analisados exemplifica a concentração de capital científico. De acordo com rankings internacionais do início de 2025, como o QS World University Rankings 2025, a Universidade de São Paulo (USP) alcançou a posição em primeiro lugar na região da América Latina, o que reafirma como uma das melhores instituições de ensino superior, demonstrando crescimento e presença nas avaliações regionais e colocando o Brasil em destaque (KRUNFLI, 2025). A

excelência da USP se reflete tanto ao contexto regional e competitividade global no qual conquistou a notável 107ª posição no ranking mundial de 2025, demonstrando uma qualidade no ensino, pesquisa e inovação reconhecida internacionalmente (ROSA, 2025).

O fator de impacto (FI) criado na década de 1960 por Eugene Garfield, é um indicador bibliométrico, como métrica de produtividade média de um periódico, que possui o intuito de avaliar o impacto e visibilidade de revistas e periódicos científicos. O FI mede a frequência média com que os artigos de uma revista são citados em um determinado período. O cálculo do fator de impacto é feito a partir da divisão do número de citações dos artigos publicados nos dois anos anteriores e o número total de artigos publicados no mesmo período de 2 anos. Como consequência do fator de impacto, têm sido desenvolvidos indicadores para avaliação de impacto na produção científica dos periódicos, a fim de ampliar e aperfeiçoar as avaliações tornando as medidas fidedignas ao seu real impacto. Desta forma o FI se tornou um fator hegemônico por meio de métricas simples, sendo uma utilidade prática de defesas da métrica e utilizadas nesse estudo para avaliar a qualidade das pesquisas nacionais sobre radiações ionizantes. Periódicos com um FI alto geralmente são mais populares e os torna desejáveis como alvos de publicação, como uma forma de agregar prestígio (ALMEIDA, 2019).

Alguns pontos negativos sobre o FI, ressalta que ele é uma métrica de periódico, não do artigo ou do pesquisador. Desse modo utilizar o FI de um periódico para avaliar a qualidade de um artigo ou a produtividade de um cientista pode ser um erro metodológico pois, um artigo individual pode ter um desempenho de citação completamente diferente da média do periódico. Neste estudo a média de citações por artigo foi 6, enquanto o FI médio foi igual a 3,77. Outra questão é que o cálculo do FI, baseado em uma janela de dois anos, é considerado limitado, pois não demonstra o impacto à longo prazo de pesquisas e é sensível a picos de citação que podem ser inflacionados artificialmente. Além disso, o sistema de FI pode reforçar uma hegemonia de periódicos, que são majoritariamente em língua inglesa e de países centrais, o que dificulta a visibilidade de periódicos regionais e nacionais (SIEKIERSKI, 2016).

As limitações identificadas nesta pesquisa estão relacionadas, principalmente, à escolha da base de dados Scopus. Embora se trate de uma base internacional amplamente utilizada em estudos de alcance global, sua adoção restringiu a captação mais abrangente da produção científica relacionada ao cenário brasileiro. O estudo foi concebido como um recorte nacional de um estudo anterior. Ainda assim, apesar dessas limitações, os resultados permitem apontar perspectivas para investigações futuras. As observações obtidas nesse estudo podem servir como referência inicial ou parâmetro comparativo para pesquisas que abordem a mesma temática, especialmente aqueles que utilizem outras bases de dados nacionais, contribuindo para o aprofundamento e a ampliação da análise.

6 CONCLUSÃO

Por meio desta revisão sistemática integrativa realizada na base Scopus, foram identificadas 10 publicações nacionais sobre os efeitos celulares da radiação ionizante. A caracterização dos estudos apresentou uma produção entre 2020 até 2024, a autoria que se destacou foi distribuída entre pesquisadores como Anna Paula Arpini, Andrea Rocha de Lorenzo, Glauber Monteiro Dias e Carlos Renato Machado. Os efeitos da redução de recursos para a ciência, intensificada pela pandemia e por decisões do governo anterior, tornaram-se mais evidentes a partir de 2021. Isso porque, em 2020, ainda eram utilizadas as verbas remanescentes de 2018 e 2019. O impacto se materializou, posteriormente, na escassez de bolsas e na evasão de pesquisadores.

A descrição dos objetivos permitiu agrupar as pesquisas em quatro temas principais: resistência à radiação no glioblastoma, resposta a danos no DNA em protozoários, efeitos da radiação em modelos experimentais e danos por radiação de diagnóstico, com uma média de 6 citações por artigo e FI média igual a 3,77. O mapeamento das instituições evidenciou uma nítida concentração (80%) na região Sudeste, com o estado de São Paulo e Universidade de São Paulo (USP) respondendo por 50% da produção. O estudo de Magalhaes *et al.* (2023) foi o de maior impacto (FI=9,6; 17 citações), seguido por Morás *et al.* (2021) (FI=5,1; 9 citações) e Serafim *et al.* (2021) (FI=3,3; 12 citações).

Ficou evidenciado a partir desse estudo que existe uma lacuna na produção científica em diferentes regiões do Brasil, demonstrando um possível reflexo relacionado ao baixo investimento em pesquisas. Essa lacuna pode ser melhor observada quando possui foco em pesquisas que necessitam de alto investimento em infraestrutura de laboratórios, equipamentos, pesquisadores especializados em determinadas áreas do conhecimento, o que consequentemente reflete numa menor produção científica.

As limitações se relacionam a base Scopus, por ser uma base internacional, limitou a análise no recorte do cenário nacional. No entanto, seus resultados se configuram como base para um parâmetro comparativo, como orientação e ponto de partida para pesquisas futuras possivelmente com fonte de dados complementares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, C.C.; GRACIO, M. C. C. Produção científica brasileira sobre o indicador “Fator de Impacto”: um estudo nas bases SciELO, Scopus e Web of Science. **Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, Brasil, v. 24, n. 54, p. 62–77, 2019.
- ALMEIDA, N. A. S.; RODAS, S. E. R.; MARQUES, W. U. R. INVESTIMENTO EM PESQUISA E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA: UM ESTUDO DE CASO PARA O BRASIL. **Revista Estudo & Debate**, Lajeado, RS, v. 27, n. 1, 2020.
- ALTMAN, M. 1902 – Pierre e Marie Curie isolam o elemento rádio. **Revista HCSM**. 2015.
- ANVISA – RDC Nº 611. Legislação Federal em Proteção Radiológica e Monitoração Individual de Radiação. **SAPRA LANDAUER**. Brasil, 2022.
- ARPINI, A. R. Evaluation of DNA damage induced by ionizing radiation from myocardial perfusion imaging: a pilot study. **BMC Cardiovascular Disorders**. 2022.
- BRASIL. Currículos do Sistema de Currículos Lattes (Andrea Rocha de Lorenzo). Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), **Plataforma Lattes**, 2025. Disponível em: <http://lattes.cnpq.br/0909492902691943>. Acesso em: 23 de setembro de 2025.
- BRASIL. Currículos do Sistema de Currículos Lattes (Carlos Renato Machado). Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), **Plataforma Lattes**, 2025. Disponível em: <http://lattes.cnpq.br/6306925202374274>. Acesso em: 23 de setembro de 2025.
- BRASIL. Currículos do Sistema de Currículos Lattes (Glauber Monteiro Dias). Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), **Plataforma Lattes**, 2025. Disponível em: <http://lattes.cnpq.br/6108707141487501>. Acesso em: 23 de setembro de 2025.
- BRASIL. Perfil profissional: Anna Paula Arpini Botelho. **Linkedin**, 2024. Disponível em: <https://www.linkedin.com/in/anna-paula-arpini-botelho-076241bb/?originalSubdomain=br>. Acesso em: 23 de setembro de 2025.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). Norma CNEN NN 3.01: **Diretrizes Básicas de Radioproteção**. 2014.
- ELSEVIER. Scopus: Base de dados e ferramenta de busca. **ELSEVIER**, 2025.
- GOVBR. Radiações ionizantes. **Instituto Nacional de Câncer - INCA**. Brasil, 2023.
- GUIMARÃES, A. R.; BRITO, C. S.; SANTOS, J. A. B. EXPANSÃO E FINANCIAMENTO DA PÓS-GRADUAÇÃO E DESIGUALDADE REGIONAL NO

BRASIL (2002-2018). **Práxis Educacional**, Vitória da Conquista, v. 16, n. 41, p. 47–71, 2020.

GUIMARÃES, R. A pesquisa médica e biomédica no Brasil. Comparações com o desempenho científico brasileiro e mundial. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 9, n. 2, p. 303-327, 2004.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER (INCA). Exposição no trabalho e no ambiente: Radiações ionizantes. **INCA**, Brasil, 2023.

KOIFMAN, S. Radiações ionizantes: efeitos, riscos e benefícios. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 27, n. 77, p. 199-218, 2013.

KRUNFLI, M. USP é a 2ª Melhor Universidade da América Latina; Brasil Lidera Ranking com 130 Instituições. **Forbes Brasil**, Brasil, 10 out. 2025.

LORENZO, A. *et al.* DNA damage and repair in patients undergoing myocardial perfusion single-photon emission computed tomography. **Scientific Reports**, 2024.

LUZA, C. P. V. C. *et al.* The importance of quality management system to certify radioprotection professionals in the medical field. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 11, n. 1, e2098, 2023.

MAGALHAES, Y. T. *et al.* Downregulation of the Rho GTPase pathway abrogates resistance to ionizing radiation in wild-type p53 glioblastoma by suppressing DNA repair mechanisms. **Cell Death and Disease**, 2023.

MARIN, P. A. *et al.* ATR Kinase Is a Crucial Player Mediating the DNA Damage Response in Trypanosoma brucei. **Frontiers in Cell and Developmental Biology**. 2020.

MARTINS, R. A. A Descoberta da Radioatividade. UFRGS. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, 7. p. 27-45, Brasil, 1990.

MARTINS, R. A. As primeiras investigações de Marie Curie sobre elementos radioativos. **REVISTA DA SBHC**. Instituto de Física Gleb Wataghin, UNICAM. Nº I/2003, pp. 29-41, 2003.

MORÁS, A. M. *et al.* Recent developments in drug delivery strategies for targeting DNA damage response in glioblastoma. **Life Sciences**. 2021.

NOGUEIRA, S. Marie Curie, a polonesa mais brilhante da história. **Serviço Público Federal – CRQ 20ª Região**. Brasil, 2020.

NOSSA CAPA. Wilhelm Roentgen e a criação dos raios X. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial**, v. 45, 1 fev. 2009.

NAVAS, A. L. *et al.* O impacto da pandemia da COVID-19 para a divulgação científica. **CoDAS**, v. 36, n. 2, p. e20240068, 2024.

NOUAILHETAS, Y. Radiações Ionizantes e a vida. **Comissão Nacional de Energia Nuclear, CNEN**, p. 2-42, Brasil, 2025.

PAGE, M. J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, v. 372, n. 71, 2021.

PETROU, C. Scientific output in the year of COVID. **The Scholarly Kitchen**, Nov. 19, 2020.

POCHMANN, M; SILVA L. C. CONCENTRAÇÃO ESPACIAL DA PRODUÇÃO E DESIGUALDADES SOCIAIS. **Revista Brasileira De Estudos Urbanos E Regionais**, v.22, e202004, 2020.

REDAÇÃO PORTAL TELEMEDICINA. Radiação ionizante na medicina: Usos, efeitos e comparação com radiação não ionizante. **PORTAL TELEMEDICINA**. 2025.

RIGHI, H. *et al.* Exposure of *Deinococcus radiodurans* to both static magnetic fields and gamma radiation: observation of cell recuperation effects. **Journal of Biological Physics**. 2020.

ROSA, V. N. USP é a melhor universidade da América Latina, aponta ranking internacional. **CNN Brasil**, Brasil, 03 jun. 2025.

ROVANI, B. T. *et al.* Analysis of nuclear maturation, DNA damage and repair gene expression of bovine oocyte and cumulus cells submitted to ionizing radiation. **Animal Reproduction**. 2023.

SCOPUS. Guia de referência rápida. **Periódicos capes**, 2015.

SERAFIM, R. B. *et al.* Expression Profiling of Glioblastoma Cell Lines Reveals Novel Extracellular Matrix-Receptor Genes Correlated With the Responsiveness of Glioma Patients to Ionizing Radiation. **Frontiers in Oncology**. 2021.

SIEKIERSKI, P. LIMA, M. C. REDES INTERNACIONAIS DE COLABORAÇÃO, PRODUÇÃO E DIFUSÃO DE CONHECIMENTO E FATOR DE IMPACTO – UMA RELAÇÃO VIRTUOSA?. **SINGEP**, Brasil, p. 1-15., 2016.

SILVA, R. B. *et al.* Specific Human ATR and ATM Inhibitors Modulate Single Strand DNA Formation in *Leishmania major* Exposed to Oxidative Agent. **Frontiers in Cellular and Infection Microbiology**. 2022.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. Integrative review: what is it? How to do it?. **Einstein**. v. 8.1, n. 102-6, 2010.

TOLEDO, E. F. T. SÃO PAULO, RIO DE JANEIRO E BELO HORIZONTE: A MANUTENÇÃO DA CONCENTRAÇÃO SOCIOECONÔMICA NAS METRÓPOLES DA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL. **Revista Geográfica De América Central**, pp. 1-16, 2011.

TREVISAN, F. A. *et al.* Apoptosis related microRNAs and MGMT in glioblastoma cell lines submitted to treatments with ionizing radiation and temozolomide. **Reports of Practical Oncology and Radiotherapy**. 2020.