



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ABAETETUBA
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA

MARCIEL DE SOUSA NASCIMENTO

**ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA SOBRE ACIDENTES NUCLEARES: UM
ESTUDO NA BASE DE DADOS DA *WEB OF SCIENCE***

Abaetetuba

2021

MARCIEL DE SOUSA NASCIMENTO

**ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA SOBRE ACIDENTES NUCLEARES: UM
ESTUDO NA BASE DE DADOS DA *WEB OF SCIENCE***

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Ciências
Exatas e Tecnologia, do Campus
Universitário de Abaetetuba, da
Universidade Federal do Pará, como
requisito parcial para obtenção do título de
Licenciatura em Física, sob orientação do
Prof. Dr. Marcos Allan Leite dos Reis.

Abaetetuba

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- N244a Nascimento, Marciel de Sousa.
Análise bibliométrica sobre acidentes nucleares : : um estudo na
base de dados da Web of Science / Marciel de Sousa Nascimento. —
2021.
75 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Marcos Allan Leite dos Reis
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal do Pará, Campus Universitário de Abaetetuba, Curso de
Física, Abaetetuba, 2021.
1. Bibliometria. 2. Web of Science. 3. Acidente nuclear. 4.
Periódico. 5. Fator de Impacto. I. Título.

CDD 530

MARCIEL DE SOUSA NASCIMENTO

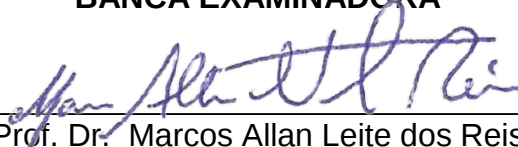
**ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA SOBRE ACIDENTES NUCLEARES: UM
ESTUDO NA BASE DE DADOS DA *WEB OF SCIENCE***

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado para obtenção do título
de Licenciado em Física, Faculdade
de Ciências Exatas e Tecnologia,
Universidade Federal do Pará, do
Campus Universitário de Abaetetuba.

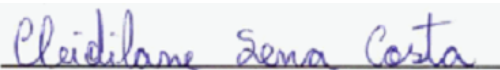
Data da apresentação: 10 de dezembro de 2021.

Conceito: _____

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Marcos Allan Leite dos Reis
UFPA
Orientador



Profª. Drª. Cleidilane Sena Costa
UFPA
Examinadora



Prof. Dr. Gabriel Adolfo Cabrera Pasca
UFPA
Examinador

Ao Criador de todas as coisas, aos meus familiares, amigos e irmãos em Cristo Jesus.

AGRADECIMENTOS

A minha mãe por estar sempre ao meu lado durante todos os momentos da minha vida, aos meus familiares por fazerem parte desta realização, aos meus colegas de curso pela amizade construída durante o curso, aos professores que nos incentivaram a não desistir no decorrer do curso, aos funcionários da instituição pelo excelente trabalho realizado e a todos os meus amigos, muito obrigado!

A liberação da energia atômica mudou tudo,
menos nossa maneira de pensar.

Albert Einstein.

RESUMO

Este trabalho mostra a importância da bibliometria para a análise das publicações científicas indexadas, especificamente sobre acidentes nucleares, haja vista de ser um tema ainda pouco explorado no meio científico, porém de grande relevância, por conta disso procurou-se enfatizar os principais países que mais publicam sobre o assunto, quais os tipos de acidentes nucleares de maior interesse nas publicações. Destacando ainda, quais as áreas de maior importância nas pesquisas sobre acidente nuclear, os registros mais citados, os periódicos com maior fator de impacto, autores e instituições que são referências neste assunto no meio científico mundial, depois da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA). A presente pesquisa auxiliará futuros trabalhos na área da ciência da informação quando se tratar do tema acidente nuclear. A presente pesquisa consistiu em uma análise bibliométrica e citométricas, na base de dados da *Web of Science* (WoS), considerada uma das mais antigas e maiores bases de trabalhos científicos do mundo, nela foram selecionados artigos científicos dos últimos 53 anos (1965 a 2018), selecionando-se trabalhos relacionados ao termo de busca “nuclear accident”, palavra chave em inglês que foi utilizado na base para seleção dos trabalhos científicos. Por meio da pesquisa concluiu-se que, o Japão e Estados Unidos foram os países que lideraram no ranking de publicações sobre acidente nuclear com 30% e 15% das publicações totais respectivamente, percebeu-se ainda, que as instituições japonesas foram as mais produtivas em questões de registros sobre o tema pesquisado comparando com instituições argentinas e portuguesas. Por conseguinte, o acidente mais estudado foi o que aconteceu na usina nuclear de Fukushima, cidade japonesa. Também foi observado que a maior parte dos autores responsáveis pelos registros publicados na base de dados WoS são de origem japonesa. Nota-se ainda, que uma das áreas de maior preocupação dos autores está relacionado às questões ambientais e de segurança. Por fim, foi possível perceber que, países onde ocorreram acidentes nucleares de grandes proporções foram os que mais investiram em pesquisas relacionadas ao tema citado, visando tomar medidas protetivas, para que tais acidentes não ocorram novamente causando danos potenciais e socioambientais sem precedentes.

PALAVRAS-CHAVE: Bibliometria. *Web of Science*. Acidente nuclear. Periódico. Fator de Impacto.

ABSTRACT

This work shows the importance of bibliometrics for the analysis of scientific publications on nuclear accidents, besides being a theme still little explored in the scientific environment, but it is of great relevance, because of this we tried to emphasize the main countries that publish more about the It also indicates what led the authors to publish about nuclear accidents, which types of nuclear accidents are most interested in the publications. Also highlighting which are the areas of greatest importance in research on nuclear accidents, the most cited records, the journals with the greatest impact factor, the authors and the institutions that are reported on this subject in the scientific world, are future studies in the field. of information sciences when dealing with the topic of nuclear accident, facilitate research on future work on the above-mentioned theme. This research carried out a bibliometric analysis in the *Web of Science* (WoS) database, considered one of the oldest and largest databases of scientific works in the world, and scientific articles from the last 53 years (1965 to 2018) were selected, if works related to the search term “nuclear accident”, keyword in English that was used in the selection base of the scientific works. Through completed surveys, Japan and the United States were the leading countries in the ranking of nuclear accident publications with 30% and 15% of total publications respectively, further realizing that the Japanese institutions were the most productive in registration issues. On the subject researched, moreover, the most studied accident was what happened at the nuclear power plant of Fukushima, Japanese city, also affected most of the authors responsible for the records published in the WoS database are of Japanese origin, note also One of the areas of major concern of the authors is related to environmental and safety issues. Finally, it was possible to realize that countries where major nuclear accidents occurred were the ones that invested the most in research related to the mentioned theme, taking protective measures, so that such accidents do not occur again damages caused by environmental and socio-environmental damages without precedents.

KEY WORDS: Bibliometrics. *Web of science*. Nuclear accident. Periodic. Impact factor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Matriz energética (%) brasileira e mundial por fonte no ano de 2016.	15
Figura 02 - Modelo de átomo proposto por Dalton.	19
Figura 03 - Modelo atômico proposto por Thomson.	20
Figura 04 - Modelo atômico proposto por Rutherford.	21
Figura 05 - Modelo atômico proposto por Bohr.	22
Figura 06 - Cadeia de decaimento radiativo do elemento Urânio 238.	25
Quadro 1 - Tipos de radiação quanto sua natureza.	26
Figura 07 - Símbolo utilizado para indicar a presença de radiação ionizante	27
Figura 08 - Ilustração do poder de penetração das radiações, α , β e γ .	28
Figura 09 - Funcionamento simplificado de uma usina nuclear.	33
Figura 10 - Hiroshima e Nagasaki destruídas pelas bombas atômicas.	35
Figura 11 - Alterações genéticas devido à radiação nuclear.	39
Figura 12 - Destroços da usina nuclear de Chernobyl.	40
Figura 13 - Usina nuclear de Fukushima após o acidente.	41
Figura 14 - Evolução da quantidade de publicações sobre energia nuclear por decênio.	50
Figura 15 - Portal de acesso periódico capes.	51
Figura 16 - Procedimento de busca.	52
Figura 17 - Registro contendo termo de busca, ano de publicação e tipo de documento.	53
Figura 18 - Registro “nuclear accident”.	54
Figura 19 - Fluxograma do procedimento da pesquisa.	55
Figura 20 - Intensidade de registros por ano.	56
Figura 21 - Registros por País desde 1965 até 2018.	58
Figura 22- Percentual dos acidentes nucleares por localidade.	59
Figura 23 - Áreas de estudo de maior atenção dos registros sobre acidentes nucleares.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 -	Doses de radiação ionizante.	42
Tabela 02 -	Níveis de referência para doses de radiação ionizante.	44
Tabela 03 -	Número de publicações dos países por tema de pesquisa.	60
Tabela 04 -	Identificação das instituições e países mais produtivos em publicações sobre o tema “ <i>nuclear accident</i> ”.	61
Tabela 05 -	Autores com maiores quantidades de registros.	62
Tabela 06 -	Ranking dos autores mais citados.	63
Tabela 07 -	Identificação das categorias na base de dados WoS.	64
Tabela 08 -	Ranking de periódicos com maior número de publicações.	65
Tabela 09 -	Ranking dos periódicos com maior fator de impacto.	65

LISTA DE SIGLAS

AIEA	Agencia Internacional de Energia Atômica
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
INES	Escala Internacional de Eventos Nucleares e Radiológicos
WoS	<i>Web of Science</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

cm	Centímetro
Cs	Césio
$-e$	Elétron
I	Iodo
km/s	quilômetro por segundo
α	Radiação alfa
β	Radiação beta
γ	Radiação gama
J	Joule
TBq	Terabecquerel

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	17
1.1.1	Objetivo geral	17
1.1.2	Objetivos específicos	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Concepções sobre a constituição da matéria.....	18
2.2	Descoberta da Radioatividade.....	22
2.2.1	Decaimento Radioativo.....	23
2.3	Tipos de Radiações.....	25
2.3.1	Emissões de Radiações (α , β , γ)	27
2.4	Energia Nuclear.....	29
2.4.1	Descoberta da energia nuclear	30
2.4.2	Utilização da energia Nuclear.....	30
2.4.2.1	Reator Nuclear	32
2.5	Acidentes Nucleares: Perigo e Risco.....	33
2.5.1	Danos potenciais causados pela energia nuclear	35
2.6	Principais Acidentes nucleares de grandes proporções.....	37
2.7	Consequências da radiação ionizante no corpo humano	45
2.8	Bibliometria	46
3	METODOLOGIA	51
3.1	Levantamento Bibliométrico	51
3.1.1	Definição do modo de busca	52
3.1.2	Coleta dos dados da pesquisa	54
3.1.3	Tratamento da análise dos dados	55
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
5.1	Perspectivas para trabalhos futuros	67
	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

A melhoria da qualidade de vida da sociedade, a manutenção das atividades e necessidades humanas e o desenvolvimento econômico de um país estão intrinsecamente relacionados ao avanço de tecnologias e procedimentos em diversos âmbitos, tais como, no setor produtivo e industrial, na medicina e na geração de energia elétrica; esses diferentes campos obtiveram considerável desenvolvimento através da descoberta do fenômeno da Radioatividade e da compreensão das reações do núcleo atômico. Apesar dos expressivos avanços, sobretudo na área da medicina e na geração de energia elétrica surge uma série de indagações quando se trata da utilização da radioatividade, sobretudo da utilização da energia nuclear (energia atômica), pois este é um tema bastante controverso, devido aos sérios riscos potenciais e socioambientais que a energia nuclear apresenta, caso ocorram acidentes com aplicações da mesma.

Segundo Schmidt (2015), mesmo que a energia nuclear, na atualidade, expressivamente, seja destacada pelas aplicações para fins pacíficos, o público geral não tem as mesmas concepções que políticos e empresário defensores do uso dessa energia; as discussões sobre o tema ocorrem em diferentes âmbitos, sendo um destes, a aplicabilidade da mesma para a geração de energia elétrica. Ainda de acordo com o citado autor, o medo e a desconfiança sobre a utilização da energia atômica para na produção de eletricidade se intensificou após o acidente na central nuclear de Fukushima. De forma semelhante, Ferreira e Soares (2012) argumentam que “o acidente nuclear de Chernobyl e o acidente radiológico de Goiânia contribuíram decididamente para criar uma imagem negativa da área nuclear perante a sociedade brasileira”.

Quando se fala em acidente nuclear, a primeira ideia que surge é a dos acidentes ocorridos nas centrais para obtenção de energia elétrica, essa ideia está relacionada principalmente com os acidentes ocorridos nas centrais nucleares de: *Tree Mile Island*, nos Estados Unidos em 1979, em Chernobyl, localizada na Ucrânia em 1986 e em Fukushima cidade Japonesa, em 2011 (MONTALVÃO, 2012). Todavia, Merçon e Quadrato (2004) argumentam que acidente nuclear é todo tipo de acidente onde há emissão de energia atômica, ou seja, radiação ionizante (energia suficiente para ionizar átomos e moléculas), em que seres humanos e meio ambiente são de

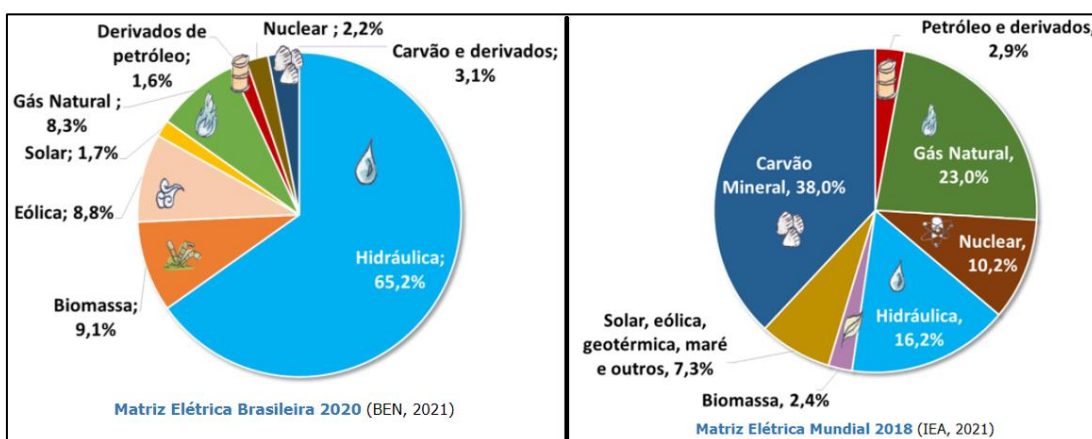
alguma forma afetados. Assim, acidentes nucleares não estão restritos às usinas para produção de eletricidade.

Um acidente nuclear pode ocorrer em reatores nucleares, que são utilizados para geração de energia elétrica, ou em reatores destinados a pesquisas nucleares, também pode acontecer um desastre atômico em equipamentos utilizados em medicina nuclear quando estes se tornam obsoletos e acabam sendo descartados de forma imprópria, como foi o caso do acidente nuclear ocorrido no Brasil, na cidade de Goiânia em 1987 (XAVIER et al., 2007).

A energia atômica pode-se ser destacada não somente na produção de energia elétrica, mas também na produção de radiofármacos, no tratamento de pessoas com doenças crônicas (como por exemplo o câncer), aplicabilidade na agricultura (Controle de pragas agrícolas), na indústria (Gamagrafia), entre outros. (NUNES, 2013). Mesmo com tantas aplicações, o setor mais conhecido que utiliza essa fonte de energia, é a área voltada para produção de energia elétrica.

Analisando-se os dados sobre produção elétrica no Brasil e no mundo (Figura 01) é perceptível que, a energia nuclear tem se destacado como uma das principais fontes de geração elétrica, possuindo significativa representatividade quando analisado os dados mundiais, correspondendo à 10,2% da energia produzida. Conforme dados publicados pela *International Energy Agency* (IEA), países como Estados Unidos, França e Japão são os que mais dependem desta matriz energética. Quanto à demanda brasileira, observa-se que a energia nuclear representa apenas 2,2% de toda energia produzida no país (EPE, 2021).

Figura 01 - Matriz elétrica brasileira e mundial por fonte.



Fonte: EPE, 2021

Em uma perspectiva histórica, a energia nuclear também tem fins não pacíficos. Segundo Cerconi, Melquiades e Tominaga (2009), a utilização da energia nuclear para fins não pacíficos exigiu o desenvolvimento da reação de fissão de forma autossustentável, como também exigiu uma quantidade razoável de material fissionável para construção de armas nucleares.

De acordo com Xavier et al. (2007), as primeiras aplicações da energia nuclear foram para fins militares durante a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), onde as pesquisas obtiveram êxito em 1942 por meio do projeto Manhattan, comandado pelos Estados Unidos. Os autores também argumentam que o teste militar da energia nuclear se deu com o lançamento das bombas atômicas em Hiroshima e Nagasaki, cidades Japonesas, logo, seus habitantes sentiram na “pele” o poder destrutivo da energia nuclear por ter sido usada de forma não pacífica. O número de mortos em Hiroshima foi de aproximadamente 90 mil pessoas por conta da detonação da bomba atômica, cujo nome era “Little Boy”; já em Nagasaki, o número de mortos imediatos foi em torno de 40 mil pessoas, após a detonação do artefato chamado pelos americanos de “Fat Man”.

Em 1942, em Chicago, Enrico Fermi cientista italiano renomado, juntamente com sua equipe, construiu o primeiro reator nuclear que atingiu a autossustentação por meio da fissão, e teve como material fissionável o ^{235}U . A partir daí diferentes países iniciaram pesquisas para o uso pacífico da energia nuclear. Dessa forma, a energia nuclear passou a ser utilizada na produção de eletricidade em diversos países, como na França, Inglaterra e na antiga União Soviética.

Decorrido algumas décadas, as usinas nucleares ocasionaram medo e desconfiança na população, em virtude dos acidentes nucleares. Sendo assim, boa parte da população mundial ficou apreensiva quanto ao uso desta tecnologia (UNEP, 2016). Por isso, o uso da energia atômica tornou-se bastante polêmico, devido os danos, ambientais, sociais e econômicos que os acidentes nucleares supracitados geraram e continuam gerando nos países em que ocorreram.

Portanto, este trabalho aborda uma pesquisa na área da ciência da informação, reunindo informações com índices de produções científicas acerca dos acidentes nucleares, visando identificar como as publicações científicas em periódicos tem se apresentado ao longo dos últimos anos.

Para tanto, levantou-se informações da biblioteca virtual no Portal de Periódicos, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

(Capes), pertinentes aos periódicos que mais publicam sobre o tema, quais são os países que se destacam nesse ramo do conhecimento e quais são os autores e instituições mais produtivos que publicam sobre o assunto “acidente nuclear”. Neste sentido, torna-se importante a análise de dados em bases seguras, como exemplo, a *Web of Science*. Essa base de dados concentra grande parte dos periódicos de circulação mundial (CLARIVETE ANALYTICS, 2018), por conta disso foi realizada comparações entre publicações internacionais e nacionais (Brasil), fazendo-se uma análise comparativa dos índices das produções brasileiras em relação as internacionais a respeito do assunto “acidente nuclear”.

O presente trabalho foi estruturado apresentando uma breve revisão bibliográfica relacionada aos conceito, história, acontecimentos, acidentes e riscos sobre energia nuclear, além de uma explanação sobre a ferramenta da análise bibliométrica (bibliometria); apresentando os materiais e métodos adotados no estudo para responder os objetivos propostos; os resultados foram gerados após a aplicação da análise bibliométrica acerca dos estudos apresentados em periódicos sobre o tema acidente nuclear, sendo em seguida, discutidas e apresentadas as conclusões.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral:

Analisar a produção científica sobre acidentes nucleares através de técnicas bibliométricas na base de dados da *Web of Science* nos últimos 53 anos.

1.1.2 Objetivos específicos:

Avaliar o comportamento do crescimento das publicações sobre acidente nuclear nos últimos 53 anos (1965 a 2018).

Identificar os principais países, instituições, periódicos e autores com maior produção de registros sobre acidente nuclear, nacional e internacional.

Analisar dos principais acidentes nucleares presente nos estudos científicos.

Identificar qual a área (impacto ambiental, segurança, medicina, economia e alimentos) apresentam maior preocupação, por parte dos países, no caso de acidente nuclear.

Identificar quais registros apresentam uma maior quantidade de citações sobre acidente nuclear.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção apresenta-se uma breve revisão bibliográfica relacionada aos conceitos, história, acontecimentos e aplicações, acidentes e riscos sobre energia nuclear, além de uma explanação sobre a ferramenta da análise bibliométrica (bibliometria).

2.1 Concepções sobre a constituição da matéria

Ao falar sobre energia nuclear e acidentes nucleares deve-se ter em mente alguns conceitos sobre a constituição da matéria, ou seja, do que a matéria é formada?

Essa pergunta foi feita por alguns filósofos gregos, por exemplo, Demócrito e Leucipo, séc. V, acreditavam que, se um determinado objeto fosse dividido várias vezes, sendo reduzido em partes cada vez menores, poderiam chegar a uma parcela imperceptivelmente pequena e indivisível, na qual denominou-se átomo, este seria o principal constituinte da matéria e se combinam de inúmeras formas; por meio destes era possível explicar todo tipo de fenômenos (BORNHEIM, 2005).

As substancias que existem na natureza vem de combinações atômicas, com os trabalhos dos cientistas iniciados a partir do século XIX percebeu-se que os átomos não são estruturas indivisíveis, por conta disso, sabe-se hoje que tudo o que existe, ou seja, toda matéria presente no universo é constituída por pequenas partículas as quais são denominados átomos. Essas partículas são formadas por partes subatômicas chamadas de partículas elementares das quais se se destacam, os prótons, nêutrons e os elétrons, essas partículas elementares podem ser localizadas no centro do átomo (núcleo), ou ao redor do centro do átomo (eletrosfera) onde estão presentes os elétrons, os elétrons possuem carga elétrica negativa ($-e$) e os prótons carga positiva ($+e$), os nêutrons não apresentam carga elétrica (MELO, 2012, p. 03).

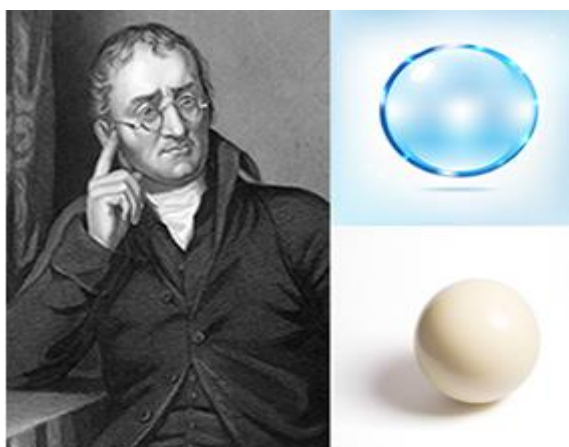
As indagações feitas sobre o conceito de átomo ficaram esquecidas por algum tempo, e apenas no início do século XIX, os pesquisadores intensificam as questões atômicas. Em 1803, John Dalton propõem sua teoria atômica e apresenta-a no livro *A NEW SYSTEM OF CHEMICAL PHILOSOPHY* (BROWN ETAL.2016).

O modelo atômico de Dalton ficou conhecido como “Modelo atômico da bola de bilhar”, representado na (Figura 02), para ele, os átomos eram esferas indestrutíveis,

maciços e impenetráveis, no entanto, a teoria atômica de Dalton apresentou algumas falhas após a realização de alguns experimentos e não durou muito tempo (OLIVEIRA & FERNANDES, 2006).

Após Dalton apresentar sua teoria, o mesmo propôs alguns postulados sobre o átomo, que são: Partículas muito pequenas e indivisíveis que compunham a matéria, e estes mantinham sua característica mesmo diante das transformações químicas; átomos iguais agrupavam-se para formar um elemento químico conforme sua massa; quando átomos diferentes se combinavam formavam substâncias compostas numa proporção de números inteiros.

Figura 02 - Modelo de átomo proposto por Dalton.



Fonte: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/evolucao-dos-modelos-atomicos.htm>
Evolução dos modelos atômicos.

No decorrer dos anos, os estudos sobre o átomo se intensificaram, em 1904 o físico famoso o qual chamava-se Joseph John Thomson, instigado pelos trabalhos realizados por Dalton e outros cientistas, fez investigações mais apuradas usando alguns equipamentos para a realização de experimentos que detectassem de alguma forma o átomo (LOPES; MARTINS, 2009).

Thomson utilizando raios catódicos provou que o átomo continha uma partícula ainda menor (CNEN, 2015, p.04). Isso aconteceu quando Thomson, descobriu a razão entre carga/massa, chegando a descobrir a primeira partícula fundamental, denominando-a elétron, propondo uma nova teoria atômica (LOPES; MARTINS, 2009).

O modelo atômico conhecido como 'Pudim de Passas' foi proposto por Joseph John Thomson em 1904, e derrubou a teoria atômica apresentado por John Dalton e

a ideia de alguns filósofos gregos, pois a partir dos experimentos realizados por Thomson ficou provado a existências de constituintes subatômicos.

No modelo representacional “Pudim de Passas” os elétrons seriam as ameixas e o núcleo seria a massa, os elétrons de carga negativa ficariam encravados da massa que apresentaria carga positiva (CNEN, 2015, p.04). Conforme a (Figura 03) observa-se Thomson e ao lado seu modelo atômico.

Figura 03 - Modelo atômico proposto por Thomson.



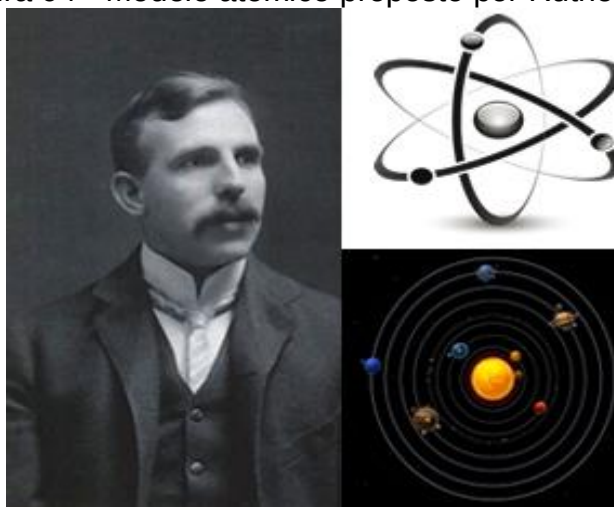
10

Fonte: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/evolucao-dos-modelos-atomicos.htm>
Evolução dos modelos atômicos.

Segundo Muniz (2014) apesar de Thomson ter sido o descobridor do elétron, ele não conseguiu determinar com precisão sua carga. Essa descoberta foi realizada posteriormente por Robert Andrews Millikan, em 1911, por meio de um experimento que ficou bem conhecido como experimento da gota de óleo, em que Millikan concluiu que a carga elementar do elétron era de aproximadamente $1,6 \times 10^{-19}$ C.

Em 1911 Ernest Rutherford, interessado pelos trabalhos de Thomson, conseguiu montar aparatos para realização de experimentos mais meticulosos, Rutherford contando com ajuda de dois físicos, Hans Geiger e Ernest Marsden, bombardearam uma fina placa de ouro com partículas α (alfas), ou seja um núcleo de ${}^4\text{He}$ (hélio), perceberam que algumas sofriam desvio e outras retornavam ao local de origem, a partir daí Rutherford concluiu que o átomo continha um centro o qual chamou núcleo e ao redor no núcleo circulavam os elétrons. Depois disso, Rutherford anunciou um novo modelo atômico, que ficou conhecido como modelo planetário (CORRÊA, 2014). Na (Figura 04) tem-se Rutherford e ao lado, o modelo planetário para o átomo.

Figura 04 - Modelo atômico proposto por Rutherford.



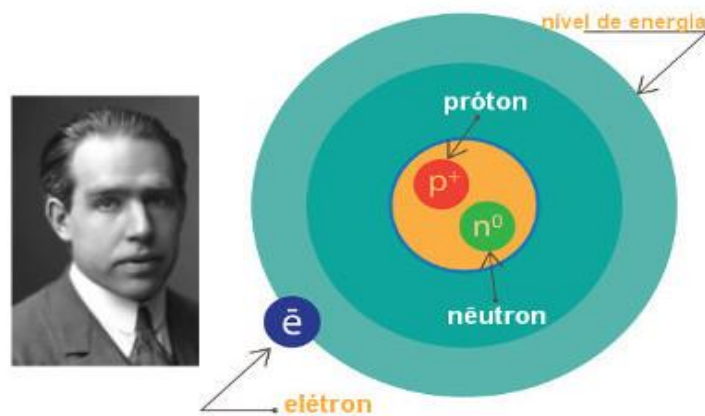
Fonte: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/evolucao-dos-modelos-atomicos.htm>
Evolução dos modelos atômicos.

No ano de 1913 o físico dinamarquês Niels Bohr, ao fazer observações sobre o modelo planetário apresentado por Rutherford lançou as bases para uma nova teoria atômica. O mesmo percebeu algumas limitações no modelo proposto por Rutherford.

Segundo a teoria apresentada por Maxweel, cargas com aceleração diferente de zero circulando em torno do núcleo tendem a perder energia por emissão de radiação, conseqüentemente a orbita se torna uma espiral levando o elétron para o centro do átomo. Onde o elétron é capturado pelo núcleo, gerando colapso atômico (MOYSES, 1998; pág.622)

Bohr não entendia como o elétron não entrava em colapso com o núcleo, por conta disso, decidiu fazer novas interpretações dos resultados que Rutherford havia apresentado, usando um átomo mais simples, o átomo de hidrogênio, no entanto baseado nas ideias de Einstein e Planck sobre quantização (MOYSES, 1998; pág. 262). O novo modelo atômico ficou conhecido como átomo de Bohr. Na (Figura 05) tem-se a imagem de Bohr e seu modelo atômico.

Figura 05 - Modelo atômico proposto por Bohr.



Fonte: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/evolucao-dos-modelos-atomicos.htm> Evolução dos modelos atômicos.

O físico que foi aluno de Rutherford, James Chadwick, por meio de experimentos, conseguiu detectar uma partícula que os físicos que haviam proposto os modelos atômicos anteriormente não tinham conseguido detectar. Chadwick bombardeou com radiação alfa um elemento químico chamado Berílio, e percebeu que era emitido outra radiação, porém, mais penetrante do que a radiação α e semelhante a radiação γ (gama). Mais adiante, Chadwick notou que havia emissão de prótons, após fazer estudos sobre seus experimentos, concluiu que havia uma emissão de partículas neutras e com massa muito próxima a do próton, a essa partícula denominou nêutron (AQUINO, 2001).

2.2 Descoberta da Radioatividade

Fernandes (2015) menciona que o físico francês Antoine Becquerel, em 1896 ao estudar uma substância contendo sais de urânio, composto de sulfato duplo de potássio e urânio percebeu, um fenômeno semelhante ao que Röntgen havia descoberto em 1895, ou seja, os sais de urânio também emitiam uma radiação semelhante aos raios X, porém em forma fosforescência.

Becquerel queria saber se todos os materiais fosforescentes apresentavam a mesma propriedade. A partir daí decidiu usar esses materiais envoltos em papelão preto, sobre uma chapa fotográfica e expô-los aos raios solares, com o intuito de que a chapa ficasse impressionada por fosforescência, esse experimento de becquerel não teve sucesso (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

Segundo Okuno e Yoshimura (2010), nos dias 26 e 27 de fevereiro de 1896, Becquerel decidiu realizar o experimento, usando dois cristais de sulfato duplo de urânio e potássio, entre eles e o filme, uma cruz fina de cobre, e expô-los a luz do Sol. Porém o dia tornou-se nublado, por isso Becquerel guardou o experimento em uma gaveta escura. Como os dias permaneceram nublados, ele decidiu revelar o filme, para sua surpresa o filme havia sido impressionado.

Becquerel chegou à conclusão que, o fenômeno de fosforescência estava ligado ao material usado, ou seja, o urânio era o responsável por essa emissão.

Uma das alunas de Becquerel chamada Marie Curie e seu esposo Pierre Curie fizeram um estudo mais aprofundado dos fenômenos de fosforescência emitidos pelo urânio e por outros elementos com propriedades similares, vindo a descobrir dois novos elementos químicos: o polônio e o rádio, nos quais também aconteciam o mesmo fenômeno. Marie chamou de Radioatividade o fenômeno da fosforescência ocasionada por esses elementos. Por conta da descoberta desses elementos, ambos foram agraciados com prêmio Nobel de Física no ano de 1903 (FERNANDES, 2015).

2.2.1 Decaimento Radioativo

O avanço nas pesquisas acerca do átomo teve como principais contribuintes a busca pela melhor compreensão de fenômenos descobertos do final do século XIX, sobretudo a Radioatividade. Os estudos da radioatividade foi interesse de boa parte dos cientistas no início do século XX. O fenômeno até então descoberto, mas sem explicações plausíveis deixava os cientistas intrigados e motivados a estudar o núcleo atômico.

Em 1903, Rutherford propôs a existência do núcleo atômico, e junto com essa construção foi possível também compreender a radioatividade e as emissões α , β e γ . O fenômeno da radioatividade consiste na emissão de partículas e energia por núcleos instáveis de alguns elementos químicos. A emissão desses diferentes tipos de partículas pelos átomos instáveis, ocasionam o fenômeno conhecido como decaimento radioativo, onde os átomos do elemento original são eventualmente transformados em novos elementos com novas características físico e químicas (XAVIER et al., 2007).

O decaimento radioativo, pode acontecer de forma espontânea, quando isso ocorre o núcleo do átomo emite uma partícula, transformando-se dessa forma em um átomo com o núcleo diferente em termos do número de prótons ou de nêutrons. Essa emissão de partícula no decaimento pode acontecer de duas maneiras: o núcleo pode emitir uma partícula α (decaimento alfa) ou pode emitir um elétron (decaimento beta) (HALLIDAY, RESNICK, KRANE, 2004). Isso acontece devido o núcleo do átomo possuir núcleons (termo científico mais utilizados para designar prótons e nêutrons). Os nêutrons não apresentam carga elétrica, já os prótons possuem carga positiva, e os mesmos estão num espaço bastante pequeno. A tendência é que venham a repelir-se, pois cargas de mesmo sinal se repelem, por isso, os prótons acabam afastando-se uns dos outros, fazendo com que a Força forte (nome científico dado a força nuclear), que os mantém presos no núcleo seja superada, ocasionando o rompimento do núcleo atômico, promovendo o escape da partícula, fazendo com que o núcleo sofra uma mudança (decaimento) assumindo uma nova forma (SOUZA, 2019).

Esse decaimento possui sequências sucessivas, pois o átomo irá decair até se tornar estável. No decorrer desse processo é possível verificar liberação de energia, esta energia é liberada em forma de radiação. Na (Figura 06) tem-se uma representação do decaimento do núcleo do átomo do ^{238}U . Este elemento possui (92 prótons e 146 nêutrons), (UNEP, 2016).

O tempo que o núcleo atômico demora para decair, ou o tempo em que uma amostra radioativa leva para reduzir-se à metade, denomina-se meia vida. O tempo de meia-vida ($T_{1/2}$) é uma característica do decaimento radioativo e é definido como o intervalo de tempo necessário para que $(N_{(0)})$ se reduza à metade $(\frac{N_{(0)}}{2})$, e está relacionado com a constante de desintegração (λ) (SECCO, 2016). A (Equação 01) é utilizada para calcular a taxa de decaimentos de amostras de elementos químicos que não são estáveis.

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (01)$$

onde N é quantidade final do elemento procurado, N_0 é a quantidade inicial de tal elemento, e é a exponencial, $-\lambda$ é a constante de decaimento o sinal de menos indica que o elemento está decaindo e t é a variação de tempo que o elemento demora para decair. Esse processo de decaimento pode demorar apenas segundos para alguns elementos radiativos, mas também pode levar milhões de anos para outros elementos radiativos (UNEP, 2016).

Figura 06 - Cadeia de decaimento radiativo do elemento Urânio 238.



Fonte: Unep (2016)

2.3 Tipos de Radiações

Após a descoberta do raio X realizada por Wilhelm Conrad Röntgen em 1895, Antoine Henri Becquerel iniciou observações que pudessem indicar uma possível relação entre as substâncias luminescentes e a emissão de raio X, o resultado dos seus estudos mostraram-se frustrados. Em um experimento utilizando sais de urânio, Becquerel observou que a substância impressiona uma chapa fotográfica mesmo sem estar exposta a fonte de luz, descobrindo então, em 1896, uma radiação que não tinha relação com a luminescência, mas sim era originária do próprio elemento utilizado. Assim, essa radiação foi denominada de Radioatividade, em 1898, pela física Polonesa Marie Curie (XAVIER *et al.*, 2007).

As radiações estão presentes em todos os lugares do planeta, podendo vir de dois tipos de fontes, naturais e/ou artificiais. Todas as atividades desempenhadas estão interligadas a radiação, apesar de ser um tema bastante conhecido, boa parte das pessoas não conhecem os tipos de radiação (PEREIRA, 2014).

A radiação é uma forma de energia em movimento, apresentando-se em forma de onda eletromagnética ou em forma corpuscular (partículas), conforme o quadro 1. Boa parte dessa radiação é produzida nos grandes aceleradores de partículas, ou nos reatores nucleares. A radiação se dá também de forma espontânea quando átomos instáveis emitem radiação nuclear para alcançar a instabilidade (OKUNO, 2013). Segundo Okuno (2013, p.185), “a radiação pode se apresentar também em forma de

onda eletromagnética, constituída de campo elétrico e campo magnético oscilantes, perpendiculares entre si e que se propagam no vácuo com a velocidade da luz de 3×10^8 m/s”.

Quadro 01 - Tipos de radiação quanto sua natureza

Tipo de Radiação	Exemplos
Eletromagnética	Luz, microondas, ondas de rádio, radar, raios-X, radiação gama (γ), etc.
Corpuscular	Feixe de elétrons, feixe de prótons, feixe de nêutrons, radiação alfa (α), radiação beta (β), etc.

Fonte: Grassi (2010, p. 20)

A radiação pode ser classificada por: ionizante e não ionizante. A não ionizante não é tão prejudicial aos seres humanos e ao meio ambiente, essa radiação é invisível aos olhos e seu comprimento de onda está compreendido entre 780nm e 390nm, para o vermelho e para o violeta respectivamente. A radiação não ionizante pode se apresentar na forma de radiação ultravioleta, essa é a maior parte de radiação que o planeta recebe, a qual provém do Sol (RÊGO, 2004).

Já a radiação ionizante, é a radiação que tem energia suficiente para arrancar elétrons dos átomos, deixando-os dessa forma ionizados. Isso ocorre quando essa radiação incide diretamente contra os átomos. Sabe-se que os seres vivos são constituídos de átomos, por conta disso, a radiação ionizante é prejudicial aos seres humanos, animais e plantas, pois pode causar alterações genéticas nos mesmos (RÊGO, 2004).

De toda a distribuição de ondas eletromagnéticas, visíveis e invisíveis, os raios X e os raios gama, são os que se apresentam na forma de radiação ionizante devido à alta energia que possuem. Estes se diferenciam das demais partículas carregadas, pois perdem toda ou quase toda sua energia quando interagem com átomos, por isso, os elétrons ejetados durante sua transição ionizam outros átomos até perder toda sua energia e parar (OKUNO, 2013). A (Figura 07) representa os símbolos utilizados para mostrar a presença de radiação em (a) radiação não ionizante e em (b) radiação ionizante.

Figura 07 - Símbolo utilizado para indicar a presença de radiação ionizante.



Fonte: <http://www.placasshop.com.br/search/?q=placa+de+radia%C3%A7%C3%B5es>

2.3.1 Emissões de radiações (α , β , γ)

As radiações ionizantes são classificadas em: α (radiação alfa) que também pode ser chamada de partículas alfa; β (radiação beta) e γ (radiação gama, ou raios gama), cada uma dessas radiações apresenta características diferentes, e podem ser estudadas separadamente (CHEMELLO, 2010).

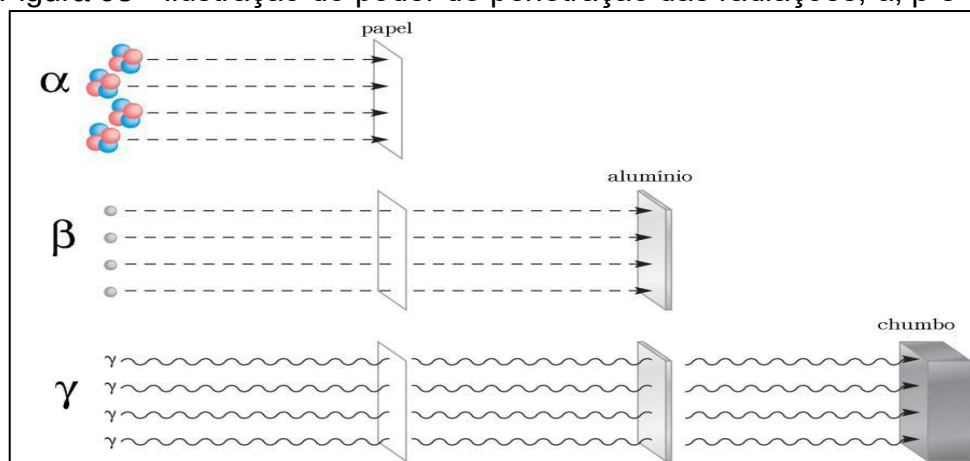
Pode-se dizer que as partículas alfas se apresentam na forma do núcleo do elemento químico hélio. Essas partículas são formadas por dois prótons e dois neutros, por isso, as partículas alfas possuem carga + 2 e massa 4, essa demonstração foi realizada por Rutherford no ano de 1909. As partículas alfas quando são emitidas acabam capturando dois elétrons do meio com o qual incidem, é dessa forma que se torna em átomo de ^4He . O poder de penetração das partículas alfa não é tão intenso e sua velocidade é de aproximadamente 20.000 km/s percorrendo 2,5 cm no ar, por isso, essas partículas podem atravessar finas laminas de Alumínio ou Ouro, porém, podem ser barradas facilmente por folhas de papel (BROWN ET AL., 2016).

A partícula beta pode ser emitida de três formas distintas que são: beta negativo, beta positivo e captura de elétrons. No entanto, nesta abordagem serão mencionadas apenas as partículas betas positivo, por conta dos danos que a mesma pode causar aos seres vivos. A partícula beta por ser menor e menos densa do que

a partícula alfa, pode se mover de forma mais vertiginosa e possui maior poder de penetração, porém é facilmente barrada por chapas de chumbo com espessura de 2mm. Nos seres vivos, a partícula beta pode penetrar alguns milímetros na pele, porém, não são capazes de penetrar o suficiente ao ponto de atingir os órgãos internos (LUIZ, 2009). A velocidade com que a partícula beta viaja é de aproximadamente 285.000 km/s, ou seja, essa velocidade corresponde a noventa e cinco por cento a velocidade da luz (SOUZA, 2019).

Já a radiação gama, ao contrário da radiação alfa e beta, apresenta-se na forma de onda eletromagnética, a emissão da radiação gama se dá no mesmo momento da emissão da radiação alfa ou beta. Os raios gama são bastante penetrantes devido a sua velocidade de emissão e comprimento de onda, dentre as radiações citadas, a radiação gama é a mais prejudicial aos seres vivos (LUIZ, 2009). Esta por ser uma onda eletromagnética pode percorrer milhares de metros no ar a uma velocidade de 300.000 km/s, por conta disso, seres vivos expostos a essa radiação por muito tempo sofrem danos gravíssimos em suas células. A radiação gama tem a capacidade de penetrar chapas de aço que apresentam 15 cm de espessura, no entanto, são facilmente barradas por grossas chapas de chumbo e por grossas paredes de concreto (SOUZA, 2019). A (Figura 08) mostra o esquema de penetração das radiações supracitadas.

Figura 08 - Ilustração do poder de penetração das radiações, α , β e γ .



Fonte: Chemello (2010)

2.4 Energia Nuclear

De acordo com informações fornecidas pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA, 2021), a energia nuclear é a energia interna do núcleo do átomo, o qual é constituído por prótons e nêutrons; essa energia pode ser obtida por meio de dois processos: fusão e fissão nuclear.

Segundo Okuno (2015) o fenômeno de fusão nuclear ocorre quando dois núcleos de hidrogênio (H), se fundem, gerando com isso um núcleo de hélio (^4He), por conseguinte apresenta uma grande quantidade de energia liberada; podendo acontecer de forma natural nas estrelas, como por exemplo, no Sol ou de forma artificial como nas bombas termo nucleares e nos reatores de fusão.

No entanto, esse processo não é tão simples de ser reproduzido, haja vista da quantidade de energia que precisa para que este fenômeno venha ser desencadeado (FOGAÇA, 2019).

Para que o processo de fissão venha ser desencadeado e gerar uma reação em cadeia, é necessário que o elemento físsil, como por exemplo o ^{235}U (Urânio 235), elemento combustível mais utilizado em reações de fissão, seja atingido por nêutrons para dar início ao processo de fissão.

O nêutron após atingir o núcleo de ^{235}U e ser absorvido pelo mesmo, faz com que o núcleo do elemento combustível, se transforme em um núcleo composto, gerando vibrações internas, até ocasionar sua ruptura, ou seja, fissão, emitindo fragmentos e novos neutros livres, sujeitos a novas colisões com outros núcleos de ^{235}U , gerando dessa forma uma reação em cadeia (TAHUATA, 2014).

Com o intuito de utilizar a energia nuclear e evitar que o procedimento de liberação de energia por meio da fissão do elemento combustível se torne uma reação em cadeia descontrolada, faz-se necessário o uso de reatores nucleares onde ocorrerem os processos de liberação de energia nuclear de forma controlada e aproveitamento da mesma; esse procedimento se dá em usinas nucleares, onde as mesmas são equipadas com turbos geradores a vapor, esse vapor provém do aquecimento da água que circula dentro do reator, e que é aquecida pelo calor oriundo da energia nuclear liberada no processo de fissão (CERCONI; MELQUIADES; TOMINAGA, 2009).

2.4.1 Descoberta da energia nuclear

Segundo Guilherme (1957, apud FERNANDES, 2015, p. 13) o físico Albert Einstein descobriu em 1905 a Teoria da Relatividade onde se mostrava teoricamente que energia e matéria podem ser convertidas uma em outra. A partir daí muitos físicos se interessaram em pesquisar sobre a energia presente nos átomos.

No final da década de 1930 os cientistas, Lise Meitner, Fritz Strassmann e Otto Hahn, ao trabalharem juntos descobriram de que forma poderiam dividir o núcleo do ^{235}U , essa forma de divisão nuclear, foi denominada de fissão nuclear (MIZRAHI, 2005).

Após a verificação da existência de uma força de ligação no núcleo do átomo, ou seja, a força que mantinha os prótons no núcleo, sem se repelirem, a qual denomina-se energia nuclear, faltava descobrir de que forma e como utilizar esta energia.

A ideia foi dividir o núcleo atômico que possuía muitos prótons e nêutrons e utilizar esta energia que os mantinham ligados. Pois, sabia-se que por conta dessa energia é que os prótons não se repeliam, já que apresentam carga elétrica positiva, descobrindo-se que a energia que seria liberada após a divisão do átomo se daria em forma de calor, ou seja, energia térmica. Portanto, percebeu-se que a mesma poderia ser utilizada, inclusive para geração de outras formas de energia (CARDOSO 2018).

2.4.2 Utilização da energia Nuclear

Muitos cientistas participaram das pesquisas realizadas sobre energia nuclear, a priori não se tinha ainda um determinado meio, para utilização dessa energia. No entanto, como esta descoberta se deu próximo ao início da segunda guerra mundial, em que cientistas de muitos países já tinham noção do poder energético dessa tecnologia e que a mesma poderia liberar grande quantidade de energia.

Os Estados Unidos resolveram então utilizar a energia provinda da fissão dos elementos químicos ^{235}U e ^{239}Pu para fins bélicos, ou seja, decidiram utilizar a energia nuclear na construção de um artefato militar, que ficou mundialmente conhecido como bomba atômica, após sua detonação em duas cidades japonesas, mostrando o grande poder de destruição que provinha dessa tecnologia (CARVALHO, 2015).

Com o término da segunda guerra mundial, as pesquisas nas áreas em que a energia nuclear poderia ser aplicada se intensificaram, por conta disso, percebeu-se que a mesma poderia ser utilizada em reatores nucleares para a obtenção de energia elétrica. Essa utilização se deu após o desenvolvimento de submarinos movidos a propulsão por energia nuclear (TERREMOTO, 2004, p.103).

No entanto, a aplicação da energia nuclear vem se desenvolvendo em várias áreas, tais como, na produção de energia elétrica, indústria, agricultura e na medicina, principalmente no que diz respeito a área farmacêutica (CARDOSO, 2018).

Segundo Hammarstron (2017), na agricultura a energia nuclear por meio de diferentes tipos de radiação, pode produzir mutações desejadas para melhorar a qualidade de vegetais e frutos, tornando-os mais resistentes a pragas e doenças, propiciando-lhes maturidade precoce e maior rendimento na produção.

Também se faz uso da radiação na agricultura, para conservar alimentos evitando assim, a brotação e amadurecimento demasiado, (CERCONI; MELQUIADES; TOMINAGA, 2009).

A energia nuclear por meio da radiação pode ser utilizada para eliminar microrganismos nocivos aos seres humanos presentes em determinados alimentos, tais como: frutas, verduras, legumes cereais, frutos do mar, entre outros.

Também se utiliza dessa tecnologia no controle de pragas (insetos) que danificam lavouras. Isso é possível pois; por meio da radiação gama é possível, tornar os “machos” das colônias, estéreis, dessa forma os mesmos irão competir com os insetos normais, isso acarreta uma diminuição na reprodução desses insetos nocivos a lavoura, até chegar na eliminação total dessas pragas, sem causar danos ao meio ambiente, pois essa técnica substitui o uso de agrotóxicos (HAMMARSTRON, et al; 2017).

Vale ressaltar que as doses de emissões devem ser bem controladas para não causar danos biológicos de forma geral, no entanto, uma grande parte da população desconhece esse ramo de aplicação da energia nuclear (CARVALHO; OLIVEIRA, 2017).

A indústria também é beneficiada por meio da utilização da energia nuclear num processo chamado de gamagrafia industrial. Esse processo consiste em uma análise de peças fabricadas para identificar possíveis defeitos na mesma, como por exemplo, rachaduras e controle de junções de peças.

Para tratar pacientes com câncer utiliza-se energia nuclear na forma de radiação gama (γ) e de partículas beta (β) dependendo da gravidade do problema. Para lesões internas, utiliza-se de medicamentos denominados radiofármacos, no entanto, esses medicamentos são mais utilizados para diagnósticos (CARVALHO; OLIVEIRA, 2017, p.40-41). O tratamento com radiação de doenças crônicas se torna eficaz devido a radiação interagir de forma direta com a matéria, sendo dessa forma absorvida por ela, quando isso acontece, células cancerígenas ou microrganismos prejudiciais aos seres humanos acabam sendo destruídos quando são atingidos pela radiação.

A energia nuclear em forma de radiação também é utilizada na rádio esterilização. Processo que consiste na aplicação direta da radiação em equipamentos cirúrgicos com o fim de destruir micro-organismos infecciosos. Aplica-se também uma dose controlada de radiação sobre tecidos humanos designados a transplantes com objetivo de saneá-los (CERCONI; MELQUIADES; TOMINAGA, 2009).

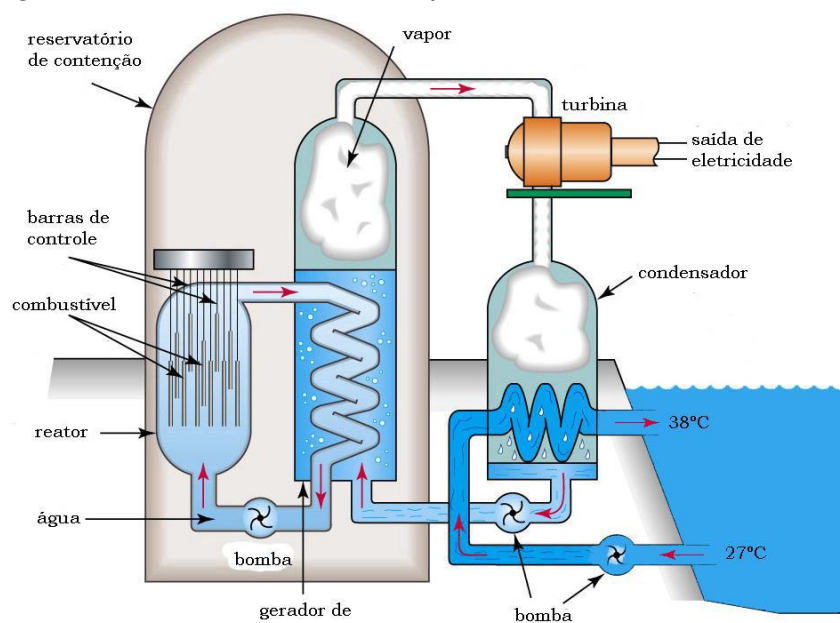
2.4.2.1 Reator Nuclear

Segundo dados da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), a partir de 10 g de Urânio 235 é possível liberar uma quantidade de energia equivalente a 700 kg de óleo diesel e 1.200 kg de carvão mineral, isso é bastante vantajoso do ponto de vista sócio ambiental, haja vista, que a quantidade de gases responsáveis pelo efeito estufa são reduzidos, a partir do uso do Urânio 235 em relação aos combustíveis fósseis (TERREMOTO; 2004).

Mesmo com tantas áreas de aplicações, vale destacar que, um dos setores que tem uma maior relevância quanto ao uso da energia nuclear são as centrais nucleares, estas utilizam a energia nuclear para produção de energia elétrica, o processo em que consiste utilizar o calor advindo das reações nucleares de fissão as quais são controladas em reatores nucleares. O funcionamento de uma usina nuclear dar-se-á de forma semelhante as usinas termoeletricas, entretanto, em vez de utilizar combustíveis fósseis, como por exemplo, derivados do petróleo, utiliza-se o combustível nuclear urânio enriquecido, o qual será a fonte energética que irá produzir o calor necessário para aquecer a água e então girar as turbinas e consequentemente gerar eletricidade (LUIZ, 2009). A (Figura 09) apresenta o funcionamento de uma

usina nuclear. Onde a água pressurizada passa no núcleo do reator, onde estão o combustível e as barras de controle, para ser aquecida. Em seguida o calor é transferido para o refrigerante secundário (água), no trocador de calor para gerar vapor, logo em seguida o vapor aciona uma turbina, produzindo energia elétrica. Após essas etapas o calor é transferido para uma fonte externa de água, condensando o líquido refrigerante secundário, o qual será bombeado de volta para o trocador de calor.

Figura 09 - Funcionamento simplificado de uma usina nuclear.



Fonte: Chemello, 2010, p 03.

2.5 Acidentes Nucleares: Perigo e Risco

Acidente nuclear é qualquer tipo de acidente ocasionado pela liberação não controlada de energia nuclear, vindo a causar danos aos seres vivos e ao meio ambiente. Os acidentes nucleares também são conhecidos como acidentes radioativos (MERÇON; QUADRAT, 2004)

Os acidentes nucleares podem acontecer principalmente em duas situações: primeiro, em um reator nuclear, que pode ser usado para obtenção de energia elétrica ou para pesquisas; segundo, no manuseio de equipamentos usados em medicina nuclear, também conhecidos como acidentes radiológicos, que tem uma probabilidade maior de acontecerem (MERÇON; QUADRAT, 2004).

Segundo Azevedo (2005), esta maior probabilidade de ocorrência de acidente está relacionada ao uso da radiação ionizante em larga escala, tendo em vista a exposição coletiva em termos de dose absorvida por parte da população que é sujeitada a exames radiológicos. E também dos profissionais que atuam nesse setor que lidam diretamente com fontes emissoras, vale destacar também o crescente número de instalações radiológicas nos centros urbanos.

Os perigos de um acidente nuclear são diversos, entre eles, pode-se destacar: envelhecimento do reator nuclear, que é bastante difícil de ser detectado, pois quando estes aparecem, vem de forma microscópica, chegando a vir à tona somente em caso de problemas mais significativos, como por exemplo rompimento de tubulações, que podem promover vazamento de material radioativo, curtos circuitos, rachaduras e trincas na estrutura do reator etc. (HIRSCH et al., 2007).

Os reatores nucleares em operação apresentam risco de acidentes, no que diz respeito ao superaquecimento do núcleo, por conta disso, utiliza-se um sistema de resfriamento, em que na maioria das vezes utiliza-se água, água pesada, sódio metálico líquido e dióxido de carbono; se o núcleo do reator não se manter refrigerado de forma correta, pode vir a sofrer sérios danos operacionais e consequentemente gerar um acidente nuclear de grandes proporções. Esse tipo de acidente nuclear é classificado como acidente nuclear por falta de refrigeração (TERREMOTO, 2004).

Um fator importante a ser mencionado são as mudanças climáticas, pois com o passar do tempo tornaram-se notório esses fenômenos, catástrofes naturais podem de alguma forma causar sérios danos as instalações nucleares, tem-se como exemplo o acidente nuclear ocorrido em Fukushima devido uma catástrofe natural (HIRSCH et al., 2007).

Para se ter uma melhor noção sobre a gravidade de um acidente nuclear, a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) criou uma escala internacional de acontecimentos nucleares; a Escala Internacional de Eventos Nucleares (INES), que varia entre 1 e 7. Essa escala serve para classificar e para se ter noção da magnitude de um acidente nuclear ou radiológico, afim de repassar ao público as informações básicas a respeito desses acontecimentos. Quando os acidentes nucleares variam de 1 a 3, são considerados incidentes, logo, não são muito graves. Porém, quando os acidentes variam entre 4 e 7, são denominados de acidentes graves. Acidentes nessas proporções causam a morte de no mínimo uma pessoa, seja através do

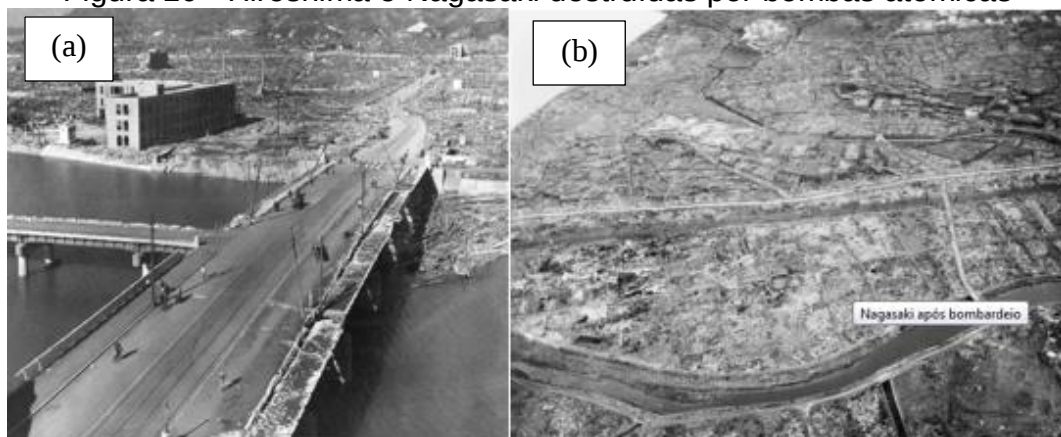
contato direto com a fonte emissora de radiação, seja mediante a contaminação do local atingido pela radiação (OKUNO, 2013).

2.5.1 Danos potenciais causados pela energia nuclear

Os primeiros danos potenciais causados pela liberação da energia nuclear em larga escala foram sentidos pelas populações de duas cidades japonesas, Hiroshima e Nagasaki. Isso aconteceu no mês de agosto, nos dias 6 e 9 de 1945 durante o fim da Segunda Guerra Mundial, quando aviões norte-americanos lançaram sobre as cidades japonesas duas bombas atômicas baseadas na fissão do Urânio e do Plutônio, sendo a primeira lançada em Hiroshima e a segunda lançada em Nagasaki.

Essas bombas foram responsáveis pela destruição física das pessoas, animais, meio ambiente e patrimônios, forçando ainda mais a rendição do Japão. Quando o ano de 1945 terminou, o saldo de mortos foi de 145 mil em Hiroshima e 75 mil em Nagasaki, todavia os danos causados pela radiação liberada pela explosão das bombas atômicas, não pararam por aí, pois vitimou pessoas nos anos seguintes por meio de patologias, e ocasionou o nascimento de crianças com má formação (XAVIER et al., 2007). A (Figura 10) apresenta respectivamente as cidades, de Hiroshima (a) e Nagasaki (b) após o bombardeio ocorridos nos dias, 6 e 9 de agosto de 1945 pelos norte-americanos.

Figura 10 - Hiroshima e Nagasaki destruídas por bombas atômicas



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/historiag/efeitos-das-bombas-atomicas-sobre-hiroshima-nagasaki.htm>

Depois do lançamento das bombas nucleares sobre o Japão, outros países também tiveram que enfrentar danos potenciais. Isso se deu por conta da liberação não controlada da energia nuclear, só que não, por detonação de bombas atômicas, mas, por acidentes em usinas nucleares.

Em um acidente nuclear pode haver emissão de Césio radioativo que por sua vez é muito prejudicial à saúde (SANTOS; SOUZA, 2013). Pesquisas comprovaram que o elemento químico Césio é bastante nocivo, diante disso vale ressaltar que:

Com base nos dados obtidos, verificou-se que a menor quantidade de césio radioativo incorporado no organismo humano ou de animais pode provocar a alteração da estrutura e da função de órgãos e de sistemas, e ocasionar novas doenças (doença do coração, dos vasos sanguíneos, tumores malignos, doenças do fígado, dos rins, da glândula tireoide e outros órgãos endócrinos) ou agravar doenças preexistentes. A alteração do sistema imunitário é uma das causas principais do aumento das doenças infecciosas, como a tuberculose e a hepatite viral. (BANDAZHEVSKY, 2013, p. 205).

Outro elemento radioativo, que possui um grande poder nocivo aos seres vivos, principalmente aos seres humanos, é o Plutônio (Pu), por ser altamente tóxico e ter um destaque por conta da intensidade de radiação que pode emitir. O Plutônio emite partículas alfa, as quais assemelham-se ao ferro contido no sangue dos seres humanos. Quando atinge o organismo, o mesmo pode agregar-se aos ossos, fazendo com que a produção de células vermelhas do sangue seja reduzida, isso faz com que, os seres humanos e outros animais, sejam acometidos por doenças, devido a radiação, câncer e por fim morte (ATKINS; JONES, 2012, p. 716). O plutônio é produzido nos reatores nucleares, por meio de uma reação de um nêutron com o elemento químico Urânio, logo, no caso de um acidente nuclear este elemento radiativo também pode ser liberado para o meio ambiente (XAVIER et al., 2007).

Além dos seres humanos, o meio ambiente também pode sofrer prejuízos sem precedentes. Plantas, animais, insetos e microrganismos sofrem alterações gravíssimas quando são atingidos por certos valores de concentração de radiação. Essa concentração é chamada de dose e pode ser classificada em dose absorvida e dose equivalente.

A dose absorvida é representada por quantidade de radiação recebida, por quilograma do local atingindo e sua unidade no SI é o gray (Gy) em homenagem ao cientista inglês, Harold Gray, um dos primeiros a se destacar nos estudos dos efeitos da radiação em seres vivos (UNEP, 2016).

As doses equivalentes provem de tipos diferentes de radiação e precisam ser avaliadas pelo seu poder de causar alguns tipos de danos aos seres vivos, a unidade de medida de dose equivalente no SI é o sievert (Sv) em homenagem ao seu descobridor, o cientista Rolf Sievert, um sievert corresponde a 1.000 milisievert (mSv), (UNEP, 2016).

Estudos realizados pela *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* (UNSCEAR) comprovaram que plantas maiores sofrem consequências mais graves que plantas menores quando absorve determinadas dose de radiação, estas são mais radiossensíveis. Tais informações foram obtidas a partir de pesquisas realizadas ao redor das usinas nucleares que sofreram acidentes, essas usinas foram a de Chernobyl e Fukushima (UNEP, 2016).

Além do perigo de acidentes nucleares, existe outro ponto importante, que é a questão do lixo nuclear, principalmente os rejeitos produzidos após a fissão do Urânio 235. Esse elemento, durante sua desintegração, é capaz de emitir radiação na forma de partículas α , partículas β e raios γ . Por esse motivo, os rejeitos produzidos a partir da fissão do Urânio devem ser bem armazenados e descartados em um local seguro, normalmente esses resíduos nucleares são armazenados em recipientes de chumbo ou concreto. Do resultado da desintegração do Urânio 235, surgem três elementos radioativos que são muito prejudiciais aos seres humanos os quais são: Iodo 131, Estrôncio 90 e Césio 137. O estrôncio demora 28,1 anos para decair e o local onde ele fica alojado no corpo humano são os ossos, o Iodo 131 tem uma meia vida de apenas 8 dias e concentra-se na tireoide o Césio 137 demora 30,7 anos para decair e pode ficar concentrado em todo o corpo (PERUZZO; CANTO, 1993).

Os meios de contaminação por energia nuclear, ou seja, radiação ionizante, podem ocorrer de duas formas: exposição externa, quando o indivíduo fica exposto a fonte de radiação por períodos excedentes tempo e quantidade de radiação recebida pelo mesmo. Outro meio de contaminação por radiação ionizante se dá por exposição interna, isso ocorre quando o indivíduo adquire para o organismo material radioativo por meio de ingestão, inalação, absorção pela pele e olhos, os efeitos por esses meios de contaminação podem ser tardios ou imediatos (AZEVEDO, 2005).

2.6 Principais Acidentes nucleares de grandes proporções

Dentre os acidentes nucleares mais conhecidos da história estão: o acidente nuclear ocorrido em 28 de março de 1979, na usina nuclear de Three Mile Island, estado da Pensilvânia nos Estados Unidos; o desastre na usina nuclear de Chernobyl localizada na antiga União Soviética, ocorrido em 26 de abril de 1986; e o mais recente, em Fukushima, localizado no Japão, que aconteceu no dia 11 de março de 2011 (MONTALVÃO, 2012). Tem-se ainda o acidente radiológico ocorrido em Goiânia,

que aconteceu no dia 13 de setembro de 1987. Este acidente ficou conhecido mundialmente como acidente radiológico com césio 137, por ter ceifado algumas vidas e deixado centenas de pessoas contaminadas pela radiação (VIEIRA, 2013). Segundo Okuno (2013), os acidentes ocorridos em Three Mile Island e Goiânia foram classificados como nível 5 na escala INES, já os acidentes ocorridos nas centrais nucleares de Chernobyl e Fukushima, atingiram o nível 7. Esses quatro acidentes envolvendo energia nuclear são considerados os mais graves da história.

O acidente nuclear que aconteceu na usina nuclear de Tree Mile Island Estados Unidos foi considerado um dos acidentes nucleares mais graves mesmo apresentando nível 5 na escala INES. O mesmo ocorreu devido uma série de erros, um desses erros foi a falta de capacitação dos operadores do reator em caso de acidente. Alguns pesquisadores declaram que não houve mortes diretas, no entanto, a radiação liberada foi sem precedentes contaminando áreas enormes (CALIAN, 2012).

A causa principal do acidente foram as decisões erradas tomadas por operadores despreparados. A temperatura do núcleo subiu demais e a pressão aumentou. Uma válvula de redução de pressão abriu-se, mas não se fechou, ao contrário do que estava indicado (MONTALVÃO, 2012, p.9).

O autor ainda ressalta que mesmo após o ocorrido, as autoridades ainda demoraram dois dias para evacuar as pessoas que viviam nas proximidades da usina, expondo-as a uma chance maior de contaminação por radiação. Apesar do acidente na usina nuclear de *Tree Mile Island* não ter gerado mortes imediatas, o mesmo trouxe sérios danos para a região da Pensilvânia, principalmente na contaminação do rio Susquehanna, uma vez que a usina se localizava às margens deste corpo d'água, em que várias espécies aquáticas do local ficaram à mercê da radiação (MONTALVÃO, 2012), podendo ainda, estar sujeitas a alterações genéticas.

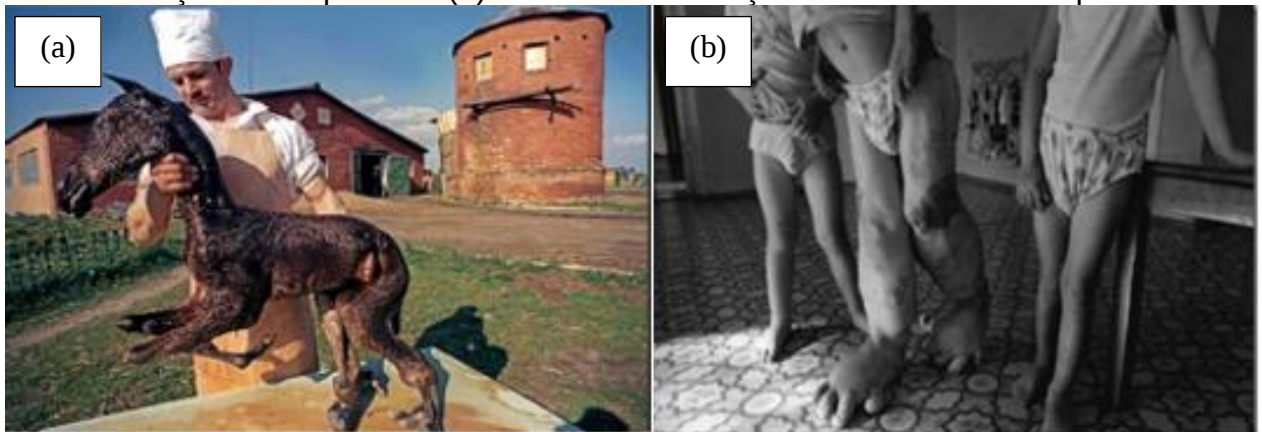
Num intervalo de tempo de apenas sete anos, veio à tona outro desastre nuclear, o qual superou o acidente de *Tree Mile Island*; o acidente de Chernobyl na Ucrânia. Esse acidente teve proporções gigantescas, e arrasou boa parte da Europa. O acidente atômico na usina de Chernobyl, teve como causa erros técnicos; os operadores do reator infringiram algumas normas de segurança ao realizarem um teste no sistema elétrico em um dos quatro reatores da usina (CALIAN, 2012).

Entre as normas de segurança desrespeitadas destaca-se: testes realizados fora do procedimento de segurança e das condições operacionais do reator nuclear, desligamento dos circuitos elétricos e automáticos para a realização do teste em

questão entre outros fatores (CARVALHO, et al ,2005). Outro erro foi o de falta de comunicação por parte das autoridades ucranianas, em informar a população sobre o ocorrido, e evacuar os residentes das cidades vizinha a usina de Chernobyl.

As autoridades locais se omitiram em informar a população a respeito do fato, vindo avisá-los somente 30 horas após o acidente ter acontecido. Até hoje ainda não se tem o número exato de vítimas, visto que uma pequena dose de radiação pode vir causar danos físicos somente no futuro. Quanto ao meio ambiente, cientistas detectaram anomalias em algumas espécies de animais, plantas e insetos (MONTALVÃO, 2012). A (Figura 11) apresenta mutações genéticas por conta das altas doses de radiação ionizante liberada na região.

Figura 11 - Alterações genéticas devido a radiação nuclear: (a) tem-se animal com má formação do corpo e em (b) tem-se uma criança com deficiência nas pernas.



Fonte: <https://irpaa.org/publicacoes/divulgacao/chernobyl.pdf>

No acidente nuclear de Chernobyl pessoas morreram por receberem dose direta de radiação, dentre eles, técnicos que trabalhavam na usina, bombeiros e mais tarde pessoas que foram acionadas para trabalhar na limpeza do local, chamados de liquidadores (médicos, policiais, mineiros, trabalhadores da construção, engenheiros, reservistas e militares das forças armadas). Essas pessoas foram acionadas com o intuito de minimizar a gravidade do acidente, porém, aconteceu o contrário, a situação se agravou ainda mais, pois os liquidadores que se submeteram à radiação acabaram perdendo suas vidas (SUGUIMOTO; CASTILHO, 2014).

As consequências do acidente nuclear de Chernobyl não pararam por aí, a área contaminada foi quase equivalente a extensão da Itália alcançando grau 7 na escala INES (XAVIER et al., 2007). Na (Figura 12) pode-se verificar como ficou a usina nuclear de Chernobyl após o acidente. Segundo Carvalho (2012) os males causados

devido a exposição à radiação ionizante afetarão não somente a presente geração, mas também as posteriores, pois as mesmas podem enfrentar problemas relacionados a sua qualidade de vida; como de fato tornou-se perceptível em Chernobyl e em cidade vizinhas, áreas nas quais também foram contaminadas pela radiação. É por isso, que um acidente nuclear é tão devastador, pois os danos sofridos pelas pessoas e meio ambiente podem ser de curto a longo prazo. Ainda a respeito deste acidente, Dupuy (2007, p. 244) destaca que:

A catástrofe de Chernobyl produziu uma radioatividade considerável: centenas de vezes mais matérias radioativas lançadas do que em Hiroshima. Médicos e geneticistas nos falaram longamente sobre os efeitos das doses fracas de radioatividade em dezenas de milhões de pessoas que vivem, bebem, se alimentam e se reproduzem em um meio contaminado (DUPUY, 2007).

Figura 12 - Destroços da usina nuclear de Chernobyl.



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/acidentes-nucleares.htm>

Outro acidente nuclear que ficou mundialmente conhecido, foi o que ocorreu em Fukushima, no Japão em 2011. Esse acidente se deu por conta de uma catástrofe natural, um terremoto com epicentro no fundo do mar foi o pivô do acidente (DINIZ; VIEIRA, 2014). Por conta do terremoto, gerou-se um tsunami com ondas de mais de quatorze metros de altura, as quais atingiram Fukushima, e consequentemente a central nuclear que se localizava próxima ao litoral (SILVA; MELO, 2012). Vale ressaltar que o principal motivo do acidente não foi o terremoto, mas sim, o tsunami. A onda gigante afetou o abastecimento elétrico, responsável pelo funcionamento das bombas, responsáveis por manter o núcleo do reator refrigerado, por conta disso, o núcleo sofreu um superaquecimento, vindo entrar em colapso e liberando uma grande quantidade de radiação para o oceano e para a região de Fukushima (DINIZ; VIEIRA, 2014).

Conforme menciona Santos e Souza (2013, p. 67) “[...]constatou-se que os reatores liberaram para o mar 15000 TBq de ^{137}Cs e ^{131}I , contaminando água, peixes e outros organismos; houve evacuação nas áreas próximas a usina.”. uma das unidades de medidas para radioatividade é o becquerel, que é representado por (Bq) $= s^{-1}$, essa unidade no Sistema Internacional (SI) representa o número de transformações que um elemento radioativo realiza por segundo. Um dos múltiplos do (Bq), é o Tera becquerel (TBq) $= 10^{12}\text{bq}$ (TAUHATA et al; 2014). Conforme mostra os valores acima e fazendo as conversões das unidades de medidas, esse número corresponde a $9,0 \times 10^{17}$ desintegrações por minuto dos elementos químicos radiativos Césio 135 e Iodo 131.

Dessa forma, nota-se que as consequências e proporções do acidente nuclear em Fukushima foi bastante expressiva, desencadeando grandes consequências econômicas e socioambientais não só para o Japão, mas também para outros países.

Após o acidente, o governo japonês declarou estado de emergência. Em princípio a gravidade do acidente foi considerada de nível 4 na escala INES, posteriormente, quando se teve realmente noção dos danos causados pela catástrofe, o acidente passou rapidamente para os níveis 5 e 6, logo depois atingiu nível 7, o mesmo nível do acidente ocorrido em Chernobyl. Neste sentido, países do mundo inteiro reavaliaram seus conceitos sobre o uso da energia nuclear e a construção de novas usinas (SILVIA; MELO, 2012). Na (Figura 13) é possível ver os danos estruturais sofridos pela usina nuclear de Fukushima.

Figura 13 - Usina nuclear de Fukushima após o acidente.



Fonte: <https://marsemfim.com.br/desastre-de-fukushima-e-o-oceano-pacifico/>

Para complementar as informações, citadas anteriormente, apresenta-se, a (Tabela 01) onde mostra alguns eventos e a quantidade de dose de radiação liberada nos três acidentes citados e limites de doses de radiação. Onde as unidades de medidas de radiação, são o sievert (Sv) e o milisievert (mSv).

Tabela 01 - Doses de radiação ionizante.

Evento	Dose de radiação
Dez minutos ao lado do núcleo do reator de Chernobyl após a explosão e derretimento do mesmo.	(50 Sv)
Dose ao passar uma hora próximo à usina de Chernobyl em 2010 em um ponto, porém com grande variação.	(6 mSv)
Dose total média do acidente de Three Mile Island para alguém morando a 10 milhas (16km) da usina.	(0,08 mSv)
Dose externa máxima do acidente de Three Mile Island.	(1 mSv)
Dose diária em dois locais a 50km a NO da usina de Fukushima em 16/3, e também em 17/3. No entanto, em outras áreas próximas a Fukushima foram observadas dose ligeiramente superiores.	(~3,6 mSv)
Limite anual de exposição à radiação para um único indivíduo estabelecido pela EPA (Agência de Proteção Ambiental), EUA.	(1 mSv)
Menor dose anual com evidências de maior risco de câncer.	(100 mSv)
Dose que causa sintomas de envenenamento por radiação se recebida em um curto período de tempo, com variações.	(400 mSv)
Envenenamento por radiação severo, em alguns casos, fatal.	(2 Sv)
Envenenamento por radiação bastante severo. Sobrevivência algumas vezes possível com tratamento imediato.	(4 Sv)
Dose fatal, mesmo com tratamento.	(8 Sv)

Fonte: <http://www.cnen.gov.br/noticias/documentos/quadro-radiacao.pdf>

No Brasil também aconteceu um acidente nuclear de grandes proporções se comparados a quantidade de pessoas, matérias e áreas contaminadas por uma pequena fração do elemento químico radioativo ^{137}Cs . Esse fato não ocorreu em um reator nuclear, mas, com um aparelho de radioterapia descartado de forma inapropriada. O

acidente radiológico ficou mundialmente conhecido como: acidente com ^{137}Cs , ocorrido na cidade de Goiânia, no dia 13 de setembro de 1987.

Tal acidente ocorreu quando dois homens que trabalhavam na coleta de materiais recicláveis, encontraram um aparelho de radioterapia em uma clínica desativada, os indivíduos desmontaram a cápsula que continha o isótopo radioativo ^{137}Cs . Por esse motivo receberam uma dose de radiação imediatamente. Porém só sentiram as consequências da exposição à radiação horas depois (VIEIRA, 2013).

Partes do aparelho de radioterapia foram vendidas para o dono de um ferro velho. O comprador impressionado com o brilho reluzente que emanava daquele material, resolveu manipular e repassar aos familiares parte da substância que continha dentro da peça, sem saber que se tratava do elemento radioativo ^{137}Cs , por conta disso, a radiação espalhou-se de forma vertiginosa pelo município de Goiânia, vindo a causar sérios danos a várias pessoas e ao meio ambiente (BARBOSA, 2009).

Segundo o relatório apresentado pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), narrando de forma cronológica os fatos, entre as quatro vítimas fatais estavam os dois homens que encontraram o aparelho, o dono do ferro velho e a filha. A (Tabela 01) elaborada pela Comissão Nacional De Energia Nuclear (CNEN) apresenta os níveis, limites e referências de dose equivalente de radiação em milisievert (mSv), para uma comparação simplificada.

Tabela 02 - Níveis de referência para doses de radiação ionizante.

Parâmetro	Valor (mSv)	Observações
Limite anual para público em situação operacional normal	1,0	Dose acima da radiação natural. Não inclui aplicações médicas. Ref.: Norma CNEN-NN-3.01
Aplicações médicas (excluindo radioterapia)	0,03 a 2,0	Média anual Ref.: UNSCEAR 2008 Média anual. Ref.: UNSCEAR 2008.
Radiação natural	2,4	Algumas regiões apresentam níveis até 5 vezes maiores, por exemplo, a cidade de Gurapari, ES.
Limite anual para indivíduo ocupacionalmente exposto (trabalhador)	20	Média em 5 anos. Não pode exceder 50 mSv em um único ano. Ref.: Norma CNEN-NN-3.01.
Nível de ação para evacuação de população em situações de emergência	50	Dose a ser evitada. Monitoração no local: taxa: 1 mSv/h. Ref.: Norma CNEN-NN-3.01 PR-006.
Limite de dose em situações de emergência para executar ações para prevenir o desenvolvimento de situações catastróficas	100	Com exceção das ações para salvar vidas. Ref.: Norma CNEN-NN-3.01.
Referências para aparecimento de efeitos observáveis	1.000	Os efeitos observados podem ser astenia, náuseas e vômitos.
Dose de corpo inteiro mais alta recebida por uma das vítimas do acidente radiológico em Goiânia, 1987	8.000	A vítima faleceu tempos depois.

Fonte: http://www.cnen.gov.br/noticias/documentos/entendendo_radiacao.pdf

Segundo o relatório apresentado pelo IPEN (1988), a CNEN só foi avisada 15 horas depois do ocorrido, tornando dessa forma a situação mais delicada e comprometedora. Ao constatarem que o ocorrido se tratava de um acidente radiológico, o Brasil informou imediatamente a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), solicitando medidas para contornar o problema, países como: Argentina, Alemanha, Estados Unidos e antiga União Soviética disponibilizaram recursos humanos para atuarem com medidas de combate conforme o acidente radiológico evoluía. O país contou ainda com a cessão ou empréstimos de equipamentos específicos relacionados a parte de proteção radiológica por parte da AIEA. Os países que cederam os equipamentos de proteção radiológica ao Brasil foram: Inglaterra, Hungria, Holanda, Japão, França, Alemanha e Israel. Esses equipamentos foram utilizados para descontaminar e mediar a quantidade de radiação nas áreas afetadas, travando-se um intenso trabalho para que os danos não se tornassem ainda piores.

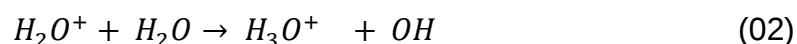
2.7 Consequências da radiação ionizante no corpo humano

As primeiras pessoas a sentirem os efeitos nocivos da energia nuclear foram seus pesquisadores, entre essas pessoas estão: Henri Becquerel que ao deixar no bolso um frasco que continha o elemento químico Rádio (Ra), teve lesões na pele por conta da radiação; Wilhelm Conrad descobridor dos raios X adquiriu um câncer no intestino, por conta disso, morreu 28 anos após esta descoberta dos raios X; com Marie Curie, a descobridora dos elementos radioativos Rádio (Ra) e Polônio (Po), não foi diferente, por estar constantemente exposta a radiação acabou desenvolvendo uma doença no sangue chamada leucemia, que foi a causadora de sua morte em 4 de julho de 1934 (UNEP, 2016).

Outros pesquisadores e médicos da época também se tornaram vítimas fatais da radiação ionizante. Quatro meses após a descoberta dos raios X por Röntgen, o médico J. Daniels, informou a comunidade científica o primeiro efeito nocivo dos raios X, que foi a queda de cabelos além do normal apresentado por um colega após ser submetido a uma radiografia do crânio. Dessa forma, percebeu-se que o uso não só dos raios X como também da energia nuclear eram responsáveis por trazer danos bastantes severos aos seres vivos submetidos a este tipo de energia. Essa observação se deu após médicos suecos conseguirem sanar um tumor localizado no nariz de um paciente em 1899 por meio de fontes de radiação. Outro fato importante foi, a diminuição do baço de um paciente com leucemia após ser submetido a radiação ionizante, fato que aconteceu em 1903. Não só pacientes, mas também médicos foram acometidos pelo efeito nocivo da radiação, isso se deu por meio de eritema, ulcerações e alguns casos de câncer (OKUNO, 1982).

Os efeitos da radiação ionizante podem ocorrer de duas maneiras, efeitos a curto prazo ou agudos, efeito a longo prazo ou tardios, os efeitos agudos caracterizam pela alta dose de radiação absorvida em pequeno intervalo de tempo, isso também depende da área do corpo a ser afetada pela radiação, doses de radiação acima de 1 Sv podem causar, vômitos, náuseas, diarreia, perda de apetite, perda de cabelos entre outros fatores, esses sintomas recebem o nome de síndrome da radiação aguda. Os sistemas mais afetados por essa síndrome são: sistema nervoso central, sistema gastrointestinal e sistema hematopoético. Cada um desses sistemas pode ser afetados a partir das seguintes doses absorvidas respectivamente; acima de 50 Sv, entre 5 e 20 Sv e abaixo de 5 Sv (OKUNO, 1982, pag. 71-72).

Sobre o mecanismo de ação das radiações nos seres vivos, Brawn *et al.* (2016, p. 975) argumenta que “muitos tecidos vivos contêm no mínimo 70% de água em massa. Quando são irradiados, a maioria da energia é absorvida pela molécula de água”, assim que a radiação do tipo ionizante tem contato com tecidos vivos promove a remoção de elétrons da molécula de água, formando então, um íon H_2O^+ , altamente reativo, que reage com outra molécula de água, formando H_3O^+ e OH , como pode ser evidenciado na (Equação 02).



Ainda de acordo com Brown (2016, p. 77), a molécula de OH possui natureza reativa e é classificada como radical livre, por possuir elétron desemparelhado. Assim que o radical livre atinge organismos vivos “pode iniciar um grande número de reações químicas que, no fim, são capazes de romper as operações normais da célula”, provocando o desenvolvimento de anomalias. O autor destaca que os tecidos que se reproduzem constantemente, como os da medula óssea, os nódulos linfáticos e os tecidos formadores de sangue, são os mais prejudicados pela radiação. Na presença prolongada em ambientes com baixo nível de radiação o desenvolvimento do câncer, como a leucemia (crescimento excessivo de glóbulos brancos), é uma das principais consequências.

2.8 Bibliometria

A bibliometria atua como uma ferramenta que permite ao pesquisador observar o estado da ciência e tecnologia através da análise da produção global da literatura científica em certo nível de especialização. Esta observação permite situar um cientista/pesquisador em relação a sua comunidade, uma instituição em relação a um país e este em relação ao resto do mundo (OKUBO, 1997).

Yoshida (2010) afirma que no passado não existiam disponibilidade de recursos computacionais e nem base de dados eletrônicos para auxiliar na busca de publicações, o que elevava os esforços para execução de métodos de rastreamento bibliométrico.

Ferreira (2010) classifica a bibliometria como sendo um método quantitativo e estatístico de medição dos índices de produção e disseminação do conhecimento científico.

O termo Bibliometria foi criado por Paul Otlet em 1934, no Tratado da Documentação. Antes, esta ciência era conhecida como bibliografia estatística, termo cunhado por Hulme em 1923 (FERREIRA, 2010). Com a necessidade de avaliar e quantificar a produção científica, a Bibliometria surge no início do século XX, por meio de elaboração de leis empíricas sobre o comportamento literário, inicialmente com a lei de Lotka (1926), de medição da produtividade dos cientistas, a lei de Bradford (1934), conhecida como método de dispersão do conhecimento científico, e a lei de Zipf (1949), que trata da distribuição e frequência de palavras nos textos (ARAÚJO; ALVARENGA, 2011).

Atualmente, com os avanços tecnológicos e da internet, além do acesso da informação em geral, aliado ao crescimento das produções científicas, permitiram a criação de bases de dados, que funcionam como suportes informacionais, contendo artigos e trabalhos científicos especializados nas diversas áreas do conhecimento, estas bases possuem credibilidade científica e oferecem mecanismos de busca para os materiais bibliográficos (PIZZANI et al., 2012).

De acordo com Archambault et al. (2009, apud Yoshida, 2010), as buscas realizadas nas bases de dados da *Web of Science* e Scopus geram resultados similares, com correlação elevada entre os resultados gerados pelas duas bases. Porém, Lopes et al. (2012) afirma que a base *Web of Science* possui melhor cobertura temporal se comparada a Scopus e Google Scholar Metrics.

Segundo Urbizagastegui Alvarado (1984) a partir de 1970, no Brasil, se iniciou uma busca incessante pela bibliometria aplicada nos mais diversos campos, tal fato foi influenciado pela implantação do Mestrado em Ciência da Informação, pelo Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia - IBICT.

Com todos estes avanços, as pesquisas bibliométricas em bases de periódicos vêm sendo muito utilizadas, seja no tocante a evolução de um determinado assunto, assim como, sobre a relevância de estudos (HE, 1999; YOSHIDA, 2010; CAÑAS-GUERRERO et al., 2013; VARGAS; VANZ, 2014).

COATES et al. (2001) entendem por bibliometria ou análise bibliométrica a contagem de publicações ou citações encontradas nas bases de publicações científicas e acadêmicas. Para YOSHIDA (2010) o rastreamento destas publicações,

quando orientado por meio de busca de palavras-chave, pode indicar sinais de propensão à evolução de uma determinada tecnologia.

As palavras-chave podem ser interpretadas como entidades de conhecimento para aplicar a análise da evolução das áreas de conhecimento a partir das diferentes trajetórias de pesquisa em uma rede (KOSTOFF et al., 1997; HE, 1999). No entanto, utiliza-se não somente as palavras-chaves como índice de pesquisa dos artigos para avaliar a evolução de uma pesquisa científica, mas também o título das publicações, uma vez que na maioria dos periódicos as palavras citadas nos títulos não devem se repetir nas palavras-chaves e vice-versa.

Vale reforçar que tem sido recorrente nas pesquisas relacionadas à avanços científicos, a utilização das palavras-chave como mecanismo para identificação dos processos de evolução da pesquisa no interior das áreas de conhecimento (MILOJEVIC et al., 2011). Há um debate dessa utilização da palavra-chave na perspectiva da associação entre as palavras e em que medida pode ser realizado o processo para aferir mudanças significativas nas áreas de conhecimento (CALLON et al., 1991; TIJSEN; VAN RAAN, 1989).

Pao (1989) relata que os estudos que analisam estatisticamente as características de publicações buscam descrever, quantificar e prognosticar o processo de comunicação escrita; procurando identificar padrões de comportamento durante a análise dos dados. De acordo com o autor, tais padrões se transformaram em princípios de comportamento conhecidos como: Lei de Bradford, Lei de Zipf e Lei de Lotka.

A Lei de Bradford foi formulada para estimar a relevância dos periódicos em determinadas áreas temáticas. De acordo com esta lei, os periódicos com maior número de publicação sobre determinado tema tendem a estabelecer um núcleo supostamente de qualidade superior e de maior relevância nesta área. Ainda de acordo com este princípio, os primeiros artigos de um novo assunto são submetidos a um número restrito de periódicos, estas publicações incentivam outros autores a submeterem seus artigos a estes mesmos periódicos. Ao mesmo tempo, com o crescente interesse do assunto, outros periódicos iniciam a publicação sobre esta temática (MACHADO JÚNIOR et al., 2016).

A Lei de Zipf foi formulada em 1949, tendo como objetivo a contagem de palavras em larga amostragem, descrevendo a relação de palavras em um texto e a ordem de série dessas palavras. Esta lei foi formulada ao analisar a obra Ulisses de

James Joyce, na qual percebeu uma correlação entre o número de palavras diferentes utilizadas e a frequência de seu uso, notando que um pequeno número de palavras é usado muito mais frequentemente (ARAÚJO; ALVARENGA, 2011).

A Lei de Lotka propõe que alguns poucos autores possuem grande produtividade em determinada área de conhecimento, enquanto que um volume elevado de autores produz pouco. Esta lei foi formulada pelo estudo de Lotka sobre as publicações e autores no Chemical Abstracts durante o período de 1907 a 1916, na qual identificou que grande parte da produção científica é realizada por poucos autores (LOTKA, 1926).

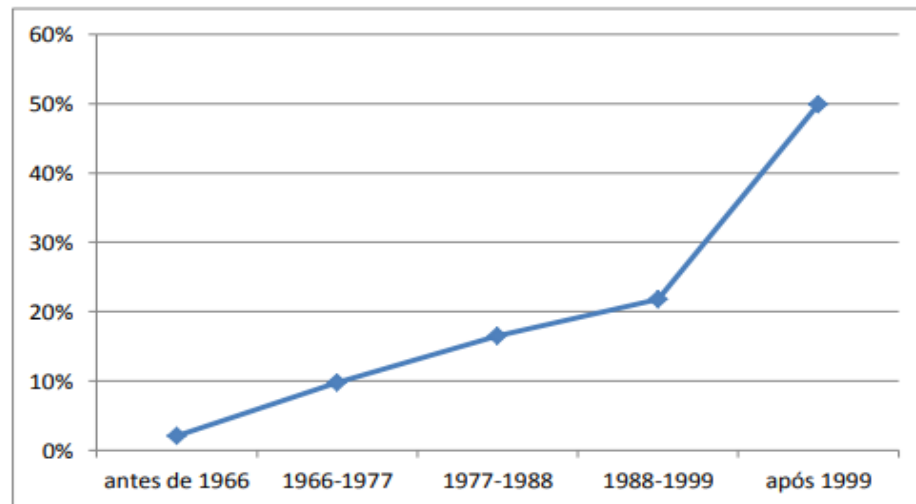
No Brasil, podem ser destacados alguns estudos na área nuclear que utilizaram a ferramenta bibliometria. Dentre eles destaca-se:

Igami (2011) utilizou a bibliometria para obtenção de indicadores científicos a partir das análises de dissertações e teses do Programa de Pós-Graduação do IPEN, onde se identificou uma forte correlação dos artigos científicos publicados com os estudos acadêmicos. O estudo demonstrou que os artigos correlacionados têm sido publicados 1,63 anos da apresentação da tese, ou seja, é um tempo médio que os artigos levam para serem publicados, isso se dá pelo fato de demora das submissões e também pelos trâmites de avaliação das revistas.

Pinto et al. (2010), utilizando-se das ferramentas bibliométricas e cienciométricas realizaram o monitoramento e obtiveram indicadores sobre as atividades científicas desenvolvidas pelo IPEN-CNEN/SP, internacionalmente. Utilizando-se como parâmetro os artigos de periódicos registrados na base de dados WoS, nas três últimas décadas, em que se identificaram o núcleo de revistas e de autores, o índice de visibilidade, o de colaboração, bem como o crescimento científico.

Zarur e Costa (2012) realizaram a análise bibliométrica no banco de dados da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, visando conhecer a quantidade e as características das publicações utilizando o termo “energia nuclear” como palavra-chave. Nesta análise, utilizando o termo “energia nuclear” como palavra-chave, levou a um total de 6.077 resultados, com uma abrangência de 4.626 periódicos revisados. Na (Figura 14) observa-se a evolução da quantidade de publicações sobre energia nuclear por decênio obtido pelos autores. Onde percebe-se um aumento significativo de publicações sobre energia nuclear nos anos de 1988 a 1999, esse aumento se deu pelo fato de o tema ter se tornado muito importante no meio científico.

Figura 14 - Evolução da quantidade de publicações sobre energia nuclear por decênio.



Fonte: Zarur e Costa, 2012.

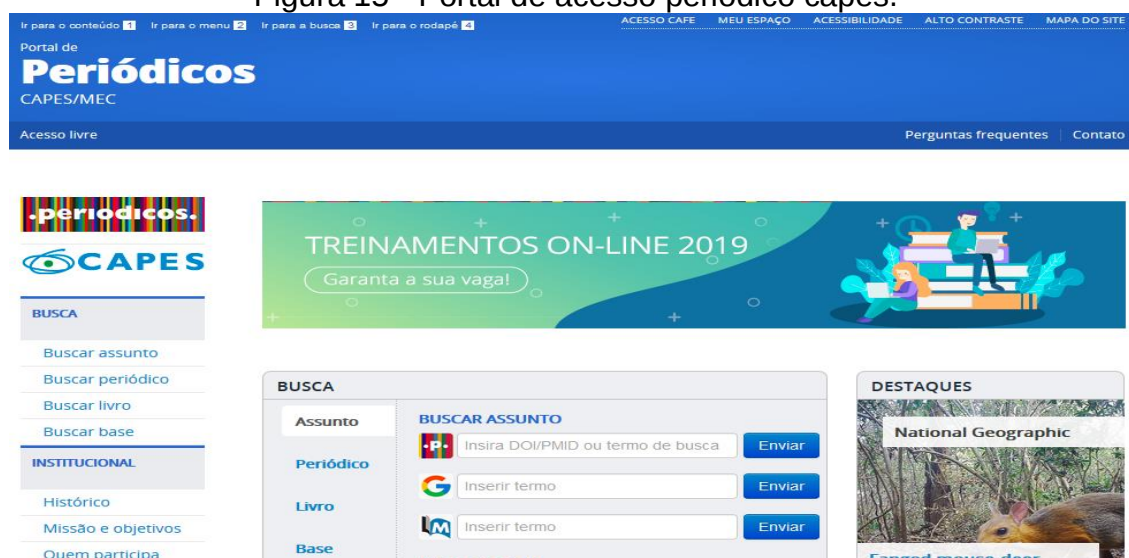
Ao realizar a pesquisa atualmente, com o termo de busca em todos os campos “energia nuclear”, utilizando a análise bibliométrica no banco de dados da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, usando como ferramenta de pesquisa a base de dados WoS, foi encontrado um total de 479,495 registros sobre o tema “ energia nuclear”, sendo que 11,531 desses registros foram revisados.

3 METODOLOGIA

A característica principal desta abordagem se dá de forma descritiva do tipo bibliográfico, com levantamento de aspectos quantitativo, objetivando a análise estatística dos dados coletados referentes à produção científica sobre acidentes nucleares.

A presente pesquisa fundamentou-se na lei de Bradford, para tanto, para a coleta e amostragem dos dados bibliométricos foi utilizado a base de dados da Web of Science, a qual é disponibilizada pelo portal de Periódicos Capes, onde é possível encontrar um acervo que abrange diversas áreas do conhecimento. A (Figura 15) mostra o portal de acesso ao Periódico Capes.

Figura 15 - Portal de acesso periódico capes.



Fonte: Clarivate Analytics, 2019.

Esta base de dados é uma das maiores referências na área, possui acervo internacional que abrange todas as disciplinas e disponibiliza mais de 100 anos de conteúdo, incluindo 59 milhões de registros e documentos que datam desde 1898. (CLARIVETE ANALYTICS, 2018a).

3.1 Levantamento Bibliométrico

A coleta dos dados foi fundamenta por meio de um levantamento bibliométrico das publicações sobre acidente nuclear no acervo internacional da WoS. O

procedimento de busca dos dados coletados realizou-se durante o mês de março de 2019 no site <https://www.periodicos.capes.gov.br/>, fazendo-se a escolha da base de dados WoS entre duas outras bases oferecidas.

A pesquisa foi do tipo básico, conforme é possível ver na (Figura 16) utilizando os termos de busca: “nuclear accident”. Os termos em Inglês foram utilizados, por conta, de os registros armazenados na WsO estarem em Inglês, as aspas foram adicionadas para que o sistema pudesse limitar somente registros voltados para área de acidente nuclear. O campo de busca selecionado foi título por exprimir a temática específica que determina o texto.

Figura 16 - Procedimento de busca.

The screenshot displays the Web of Science search interface. At the top, there is a navigation bar with links to various services like Web of Science, InCites, and Journal Citation Reports. Below this, the 'Web of Science' logo is prominent on the left, and the 'Clarivate Analytics' logo is on the right. A central banner announces a scheduled maintenance period from November 13, 2019, 11:00 GMT to 23:00 GMT. Below the banner, users are prompted to select a database, with 'Principal Coleção do Web of Science' chosen. A search bar contains the text '"nuclear accident"'. To the right of the search bar, a dropdown menu is set to 'Título'. A blue 'Pesquisa' button is visible, along with a link to 'Dicas de pesquisa'. At the bottom, there are links for '+ Adicionar linha' and 'Redefinir'.

Fonte: Clarivate Analytics, 2019.

3.1.1 Definição do modo de busca

A palavra selecionada como termo principal para a realização da pesquisa foi “nuclear accident”, as aspas são adicionadas para que a busca se direcione somente a trabalhos que abordem sobre o mesmo, ou seja, entre aspas a base de dados, busca de fato somente os registros que são escritos sobre acidente nuclear, em seguida selecionou-se a opção título para que viessem a serem pesquisados os registros com o termo de busca somente nos títulos, e não de forma geral. Ao realizar essas etapas o número de registros encontrados foram de 744.

Após os procedimentos supracitados, utilizou-se dos recursos oferecidos pela WoS, para minimizar o trabalho, que seria de analisar os 744 registros encontrados.

Esse recurso é apresentado como Refinar Resultados, as opções de refinamento são: anos de publicação, categorias da *Web of Science*, tipos de documentos, organizações - consolidadas, agência financiadora, autores, títulos da fonte, acesso aberto, títulos de séries de livros, títulos de conferencia, países/regiões, editores, autores grupos, idiomas, áreas da pesquisa e por último índice do *Web of Science*. Diante dessas opções escolheu-se duas delas, que foram: *ARTICLE*, para que a pesquisa se direcionasse somente para artigos. Após o refinamento usando o termo *article*, o número de registros caiu de 744 para 504.

Em seguida, selecionou-se anos de publicação, onde apareceu as opções para selecionar os anos de 1965 a 2019. Optou-se por selecionar os anos de 1965 a 2018. Após esse procedimento, fez-se o refinamento e o número de registros caiu de 504 para 489, esse processo de refinamento auxiliou muito a pesquisa. A (Figura 17) mostra a imagem de um registro, destacado em amarelo, o tema pesquisado no título tipo de documento e ano da pesquisa.

Figura 17 - Registro com termo de busca, ano de publicação e tipo de documento.

Changes in the mental health status of adolescents following the Fukushima Daiichi nuclear accident and related factors: Fukushima Health Management Survey

Por: Hayashi, F (Hayashi, Fumikazu)^[1,2]; Sanpei, M (Sanpei, Megumi)^[2]; Ohira, T (Ohira, Tetsuya)^[1,2]; Nakano, H (Nakano, Hironori)^[1,2]; Okazaki, K (Okazaki, Kanako)^[1,2]; Yasumura, S (Yasumura, Seiji)^[2,3]; Nakajima, S (Nakajima, Satomi)^[4]; Yabe, H (Yabe, Hirooki)^[2,5]; Suzuki, Y (Suzuki, Yuriko)^[6]; Kamiya, K (Kamiya, Kenji)^[2]

Autor(es) grupo: Fukushima Hlth Management Sur

JOURNAL OF AFFECTIVE DISORDERS

Volume: 260 Páginas: 432-439

DOI: 10.1016/j.jad.2019.09.045

Publicado: JAN 1 2020

Tipo de documento: Article

Fonte: Clarivate Analytics, 2019.

A pesquisa deu-se lendo os títulos e resumos dos registros para a identificação do tema, porém, alguns artigos não apresentaram de forma explícita o tema, por isso, fez-se necessário a leitura na íntegra de alguns textos. Com isso, foi possível identificar o tema do registro do acidente nuclear de cada publicação, após esse levantamento os artigos foram enquadrados nas seguintes classificações gerais: impacto ambiental, segurança, medicina, alimentos e economia.

Ao abrir o registro foi possível identificar que o título se encontra na parte superior e com letras mais destacadas, logo abaixo do título encontra-se os nomes dos autores. Sob os dados da autoria do artigo, foi possível observar a área da

pesquisa em que se estruturou o registro, mês e ano de publicação, tipo de documento e o periódico. Também foi possível observar a conferência em que o registro foi apresentado, o local e data de apresentação e os patrocinadores. Em seguida, observou-se o resumo, as devidas palavras-chave, endereço eletrônico dos autores, editor, informações sobre periódico e categoria/classificação do registro. A classificação refere-se às áreas de pesquisa, enquanto à categorias é a WoS, além disso, do lado superior direito, está o número de citações do registro e a quantidade de usos na referida base de dados (WoS) nos últimos 6 meses desde o acesso. Isso tudo é possível ver na (Figura 18).

Figura 18 - Registro “nuclear accident”

The screenshot shows a Web of Science record for the article "ACUTE MYELOID LEUKEMIA, PROSTATE AND SKIN CANCER IN ACUTE RADIATION SYNDROME SURVIVOR AFTER THE 1986 CHERNOBYL NUCLEAR ACCIDENT: CASE REPORT". The authors listed are Samoylov, AS; Bushmanov, AY; Udaltov, YD; Galstyan, IA; Nugis, VY; Kozlova, MG; Nikitina, VA; Khvostunov, IK; and Golub, EV. The article is published in "RADIATION PROTECTION DOSIMETRY", Volume 182, Issue 1, pages 83-89, in December 2018. It is a "Proceedings Paper" from the 15th Coordination and Planning Meeting of the World Health Organization's Radiation Emergency Medical Preparedness and Assistance Network (WHO-REMPAN) in Geneva, Switzerland, on July 03-05, 2017. The abstract describes the development of hemoblastosis in a patient involved in the 1986 Chernobyl accident, who suffered from acute radiation syndrome of degree II severity. The article reports on clinical and cytogenetic dosimetry, showing an average absorbed radiation dose to the whole body of 4.3 Gy. Long-term clinical follow-up (27 years) observed moderate transient instability of hematological parameters, including lymphocytosis, leukopenia, and thrombocytopenia, along with chronic viral hepatitis C. Cytogenetic investigations demonstrated very high frequency of translocations, up to 50 times background values, persisting over three decades. The patient was diagnosed and operated on in 2014.

On the right side of the record, there is a "Rede de citações" (Citation Network) section showing 19 references cited. Below that, the "Usar no Web of Science" (Use in Web of Science) section shows 3 uses in the last 100 days. At the bottom right, there is a "Sugerir uma correção" (Suggest a correction) link.

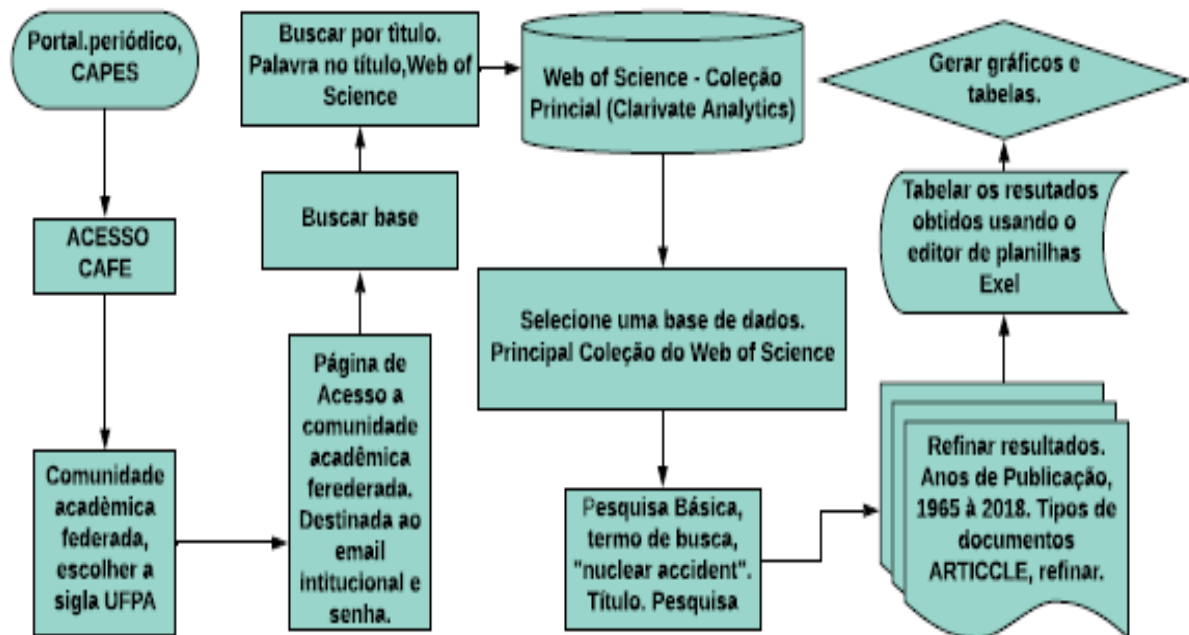
Fonte: Clarivate Analytics, 2019.

3.1.2 Coleta dos dados da pesquisa

Após a seleção dos registros, tabelaram-se os dados obtidos utilizando o software Office Excel, onde foi possível organizar as informações da pesquisa, tabulando as seguintes informações de cada artigo: título, ano, revista, área, país,

instituição, tema, local do acidente, total de citações, autor, número de autores e coautores. Para se ter uma noção melhor dos passos a passos, durante o acesso no portal do periódico capes, tem-se um fluxograma do procedimento seguido com a cronologia do acesso e pesquisa, como é possível ver na (Figura 19).

Figura 19 - Fluxograma do procedimento da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.3 Tratamento da análise dos dados

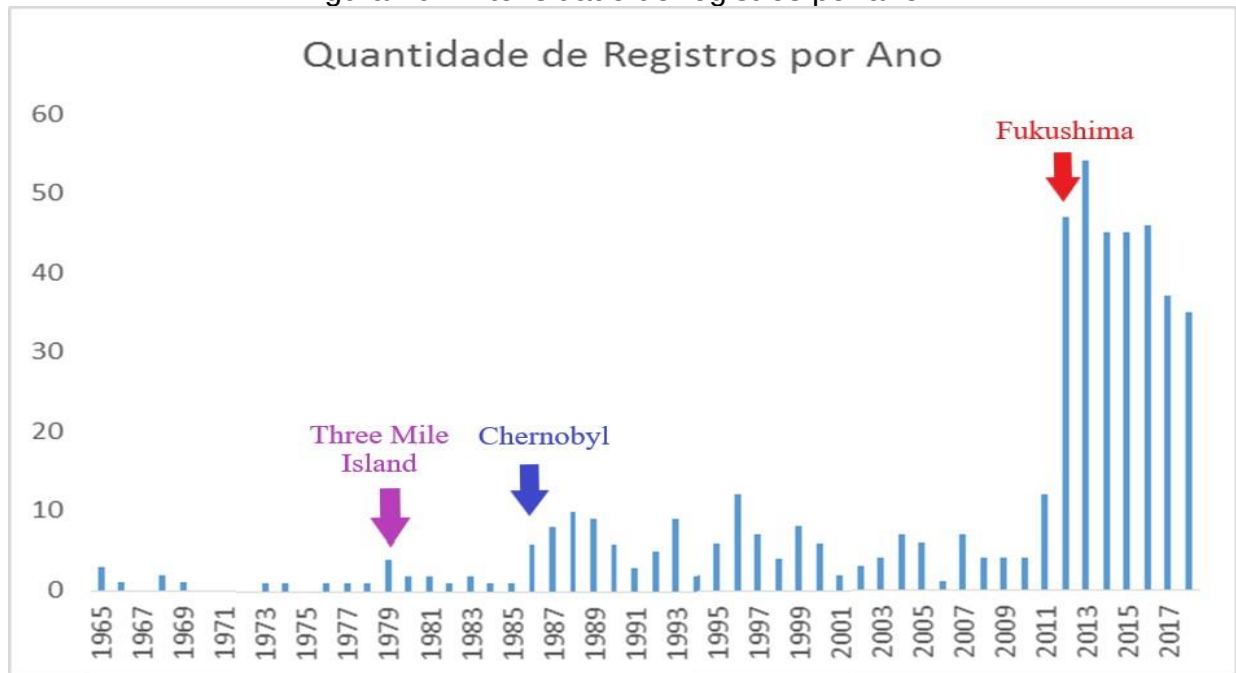
Para se ter uma melhor organização das informações coletadas durante a pesquisa bibliométrica, optou-se por armazenar as informações colhidas no aplicativo Microsoft Office Excel. Em seguida, utilizou-se a ferramenta classificar e filtrar, para organizar e facilitar a análise dos dados encontrados. Dessa maneira, foi possível fazer as devidas organizações dos dados coletados e ter um melhor rendimento na análise das informações coletadas. O método matemático utilizado foi, o método proporcional simples, onde pegou-se a quantidade de registros, ou seja, os 489 e calculou a porcentagem para cada tema, autor, instituição, revistas, etc.

Os resultados obtidos foram apresentados em forma de gráficos e tabelas para uma melhor interpretação dos dados, em seguida fez-se um levantamento percentual dos dados coletados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando-se a pesquisa sobre acidente nuclear utilizando a base de dados da *Web of Science*, nos últimos cinquenta e três anos (1965 a 2018), percebeu-se que; os registros sobre acidente nuclear se intensificaram a partir de 1986, conforme ilustra a (Figura 20).

Figura 20 - Intensidade de registros por ano.



Fonte: Autoria própria

Na (Figura 20) percebe-se que as publicações sobre acidente nuclear ganharam mais destaque a partir dos primeiros acidentes nucleares de maior relevância já ocorridos. Como foi o caso de Three Mile Island e Chernobyl, durante esse tempo houve uma oscilação em publicações sobre acidente nuclear, no entanto com o acidente nuclear que aconteceu em Fukushima, no ano de 2011, o número de publicações se expandiu. Desse modo, nota-se que o aumento de publicações está ligado diretamente com os fatos acontecidos, onde é possível perceber que o interesse em pesquisar sobre o assunto atingiu proporções maiores de 2012 a 2017, obtendo um recorde de publicações em 2013 com 54 publicações. Ainda com base na (Figura 20), nota-se que, nos anos de 1967, 1970, 1971, 1972 e 1975 não se encontrou artigos armazenados na base de dados da WoS sobre “nuclear accident”.

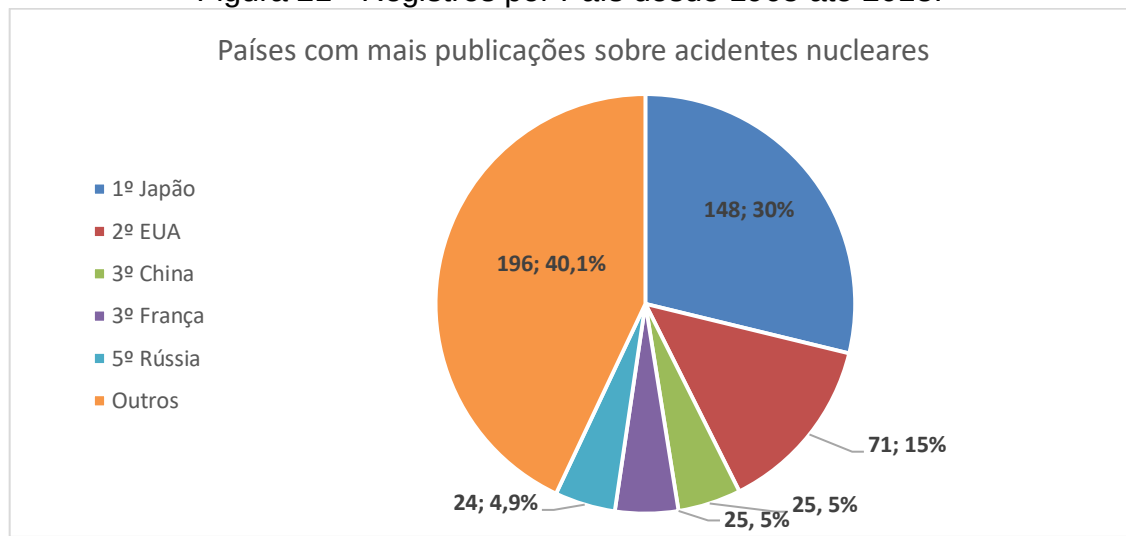
De forma geral, pode-se perceber que esse aumento no número de publicações nos últimos anos está relacionado, principalmente, aos três acidentes

nucleares mais expressivos que ocorreram em Three Mile Island (1979) o número de registros nessa época totalizou 4, Chernobyl (1986), em 1988 as publicações relacionadas ao acidente nuclear de Chernobyl foram 10, e Fukushima (2011), como já mencionado apresentou 54 registros em 2013. Percebe-se que em 1979, após o acidente de Three Mile Island (EUA) o aumento das publicações ficou mais estáveis nesse respectivo ano, diferente de 1986 e 2011 que representaram um aumento significativo nas publicações a partir dos acidentes nucleares ocorridos.

Dos 489 artigos analisados, percebeu-se que o Japão liderou no ranking de publicações. O acidente mais estudado foi o que ocorreu em Fukushima, com um total de 134 registros. Estas publicações sobre o acidente nuclear ocorrido em Fukushima representam 91% das publicações totais do Japão (148). Dos 71 registros apresentados pelos Estados Unidos, 21 deles diz respeito a acidentes nucleares estudados no próprio país. Esses números correspondem a cerca de 32% das publicações norte americanas. Entre China e França houve um empate no número de registros sobre acidente nucleares, com 25 artigos cada, dentre os acidentes mais estudados por esses dois países destaca-se o acidente nuclear ocorrido em Fukushima, em que a China obteve 19 registros, correspondendo a um total de 76% de suas publicações. Já a França apresentou 10 registros sobre Fukushima, totalizando 40% de suas publicações. A Rússia totalizou 24 registros, dos quais 17 foram baseados no acidente nuclear ocorrido em Chernobyl, representando cerca 70% das publicações totais do país. A maior parte das publicações deu-se entre outros países, que apresentaram grandes quantidades de publicações, porem somando-se todos esses países de menor destaque chega-se à 196 registros, o que representa 40,1% das publicações analisadas.

Na (Figura 21) observa-se o quantitativo de publicações por países, podendo-se desta forma, perceber quais são os países que mais publicam sobre o tema.

Figura 21 - Registros por País desde 1965 até 2018.

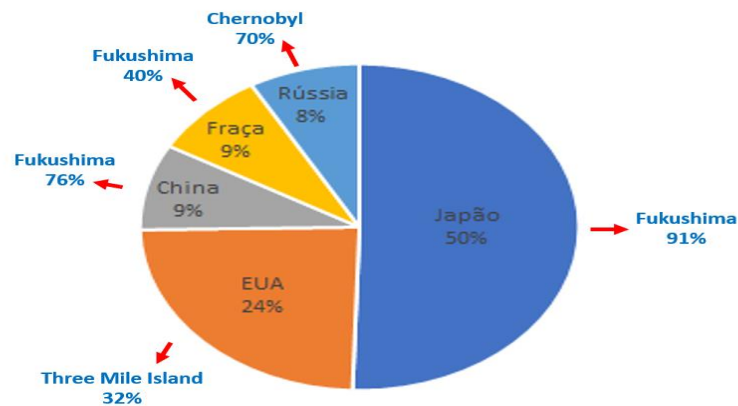


Fonte: Autoria própria

Nota-se que no resultado das publicações por países, que os 5 países que mais publicam sobre o tema, detêm mais da metade da publicação mundial. Além disso, pode-se perceber que países onde houveram os acidentes mais expressivos estão dentre os 5 países destacados, com Japão e EUA em primeiro e segundo lugar respectivamente, e a Rússia, vizinha da Ucrânia representando possivelmente os estudos a respeito de Chernobyl.

De forma complementar à (Figura 21) apresenta-se a (Figura 22). Onde é possível identificar os locais dos acidentes mais estudados pelos países supracitados. A parte azul escuro representa o Japão, a parte vermelha os Estados Unidos, a parte verde à França e assim sucessivamente. Dos 148 registros publicados pelo Japão, 91% se referem ao acidente nuclear ocorrido em Fukushima, para os Estados Unidos, dos 71 registros, 32% foram escritos com base em acidentes nucleares ocorridos no país, já a China, dos 25 registros publicados, 76% se referem ao acidente nuclear ocorrido em Fukushima. A França também fez mais estudos sobre o acidente nuclear que aconteceu em Fukushima, dos seus 25 registros 40% destes se referiram à cidade japonesa. A Rússia apresentou mais publicações sobre o acidente nuclear que aconteceu em Chernobyl, dos 24 registros apresentados pelo país, 70% correspondem ao acidente nuclear de Chernobyl.

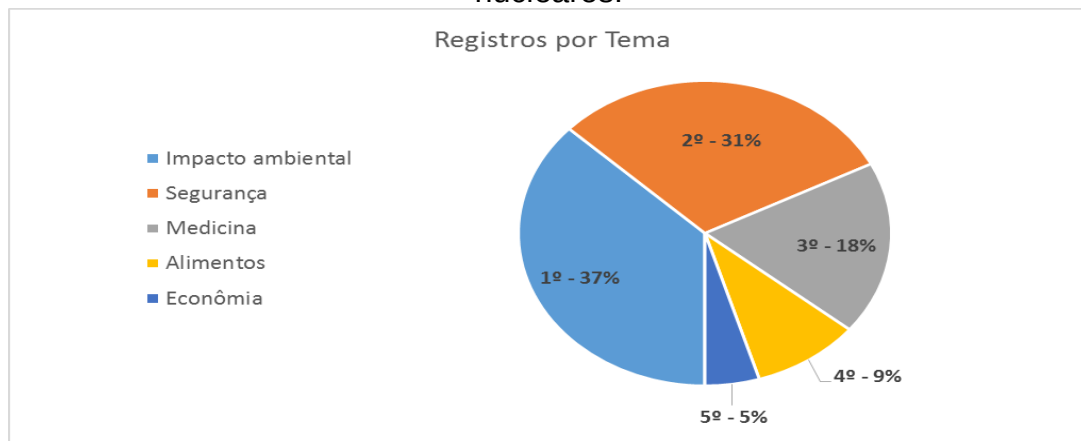
Figura 22 - Percentual dos acidentes nucleares por localidade.
Países com mais publicações e respectivos acidentes mais estudados em cada um.



Fonte: Autoria própria

A pesquisa na base de dados da *Web of Science* sobre acidente nuclear revelou ainda qual tema (área) teve maior destaque, como é mostrado na (Figura 23).

Figura 23 - Áreas de estudo de maior atenção dos registros sobre acidentes nucleares.



Fonte: Autoria própria

Uma das maiores preocupações dos autores ao estudarem sobre acidente nuclear foi justamente os danos causados ao meio ambiente, isso se deve ao fato de que, o meio ambiente é o mais afetado com a ocorrência de um acidente nuclear. Além disso, associado ao resultado da produção histórica, nota-se que os estudos se intensificaram à medida que os acidentes ocorreram, levando consequentemente, a estudos voltados a análises das implicações dos acidentes, por isso, a um aumento expressivo do número de estudos voltados a impactos ambientais.

Percebe-se também, que muitos países se preocuparam com a questão da segurança, tentando propor medidas para tentar evitar ou minimizar as consequências

causadas por um acidente nuclear, entre estes países, os que mais se destacaram na área de medidas de segurança (prevenção) contra acidentes nucleares foram USA, Japão e China. A área da medicina nuclear também foi bastante explorada nas publicações, principalmente em investigações sobre novas formas de tratamento de doenças em pessoas expostas as radiações ionizantes.

Alguns países deram bastante destaque a respeito da produção de insumos agrícolas, pescados, carne, etc., próximos as regiões afetadas por conta da radiação liberada em acidentes nucleares, entre estes países destaca-se o Japão. Já a parcela de estudos voltados a questões econômicas estão relacionadas aos danos físicos de patrimônios industriais, comerciais e residenciais, pois, países que foram afetados de formas direta e indireta tiveram sua infraestrutura, móveis e imóveis completamente danificadas pela contaminação da radiação, que, por conseguinte, levaram aos governos desses países a disponibilizar recursos financeiros para reconstrução e descontaminação dessas áreas, entre os países de maior destaque neste tipo de publicação encontram-se EUA e Japão.

A (Tabela 03) mostra de forma sistematizada sobre as áreas de pesquisa desenvolvidas nos estudos voltados a acidentes nucleares.

Tabela 03 - Número de publicações dos países por tema de pesquisa.

Ranking	Impacto Ambiental	Segurança	Medicina	Alimentos	Economia
1º	Japão (66)	USA (30)	Japão (25)	Japão (21)	Japão (07)
2º	França (16)	Japão (29)	USA (18)	USA (05)	Bélgica & USA (03)
3º	USA (14)	China (11)	Rússia (13)	Inglaterra (03)	
4º	China (12)	Alemanha (10)	Inglaterra (08)	Alemanha, Coreia do Sul & França (02)	Canadá & Alemanha (02)
5º	Coreia do Sul (08)	Coreia do Sul & Inglaterra (09)	Alemanha & Itália (04)		

Fonte: Autoria própria

Com base nas informações da tabela 03, percebe-se que Japão e USA, preocuparam-se em investigar mais sobre acidente nuclear no que diz respeito à segurança, tanto das instalações quanto da qualificação dos operadores das usinas, podendo estar associado ao fato destes dois países se utilizarem da energia nuclear como sua principal matriz energética, principalmente para produção de energia elétrica.

Segundo dados, coletados em 2010, pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), os Estados Unidos foi o país que mais produziu energia elétrica a

partir da energia nuclear, com um total de (104) reatores nucleares instalados e em funcionamento. Países como França com (59), Japão (53) e Rússia com (31) têm reatores nucleares com a finalidade de produzir energia elétrica. Ainda de acordo com a AIEA em 2009 a energia elétrica provinda de usinas nucleares representou 14% da energia total ofertada no mundo. No entanto, essa apresentação de oferta varia de forma significativa conforme a região, como é o caso da Europa ocidental onde a fonte energética nuclear é responsável por cerca de 27% do total de energia elétrica produzida, já na América Latina e África esses valores são bem pequenos e ficam em torno de 2,4% e 2,1%, respectivamente.

Na (Tabela 04) tem-se informações mais precisas sobre as vinte instituições que mais publicaram sobre acidente nuclear.

Tabela 04 - Identificação das instituições e países mais produtivos em publicações sobre o tema “*nuclear accident*”.

Ranking	Instituição	País	Registros	% de 489
1º	UNIVERSITY OF TOKYO	Japão	35	7,15%
2º	JAPAN ATOMIC ENERGY AGENCY	Japão	18	3,68%
3º	UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY DOE	EUA	16	3,27%
4º	NATIONAL INSTITUTE OF RADIOLOGICAL SCIENCES JAPAN	Japão	15	3,06%
5º	RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES	Rússia	11	2,24%
6º	NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE TECHNOLOGY AIST	Japão	10	2,04%
7º	TOHOKU UNIVERSITY	Japão	9	1,84%
8º	FUKUSHIMA MEDICAL UNIVERSITY	Japão	9	1,84%
9º	HOKKAIDO UNIVERSITY	Japão	9	1,84%
10º	KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE	Coréia do Sul	8	1,63%
11º	BELGIAN NUCLEAR RESEARCH CENTRE SCK CEN	Bélgica	8	1,63%
12º	CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE CNRS	França	8	1,63%
13º	FUKUSHIMA UNIVERSITY	Japão	8	1,63%
14º	HIROSAKI UNIVERSITY	Japão	8	1,63%
15º	TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK	Dinamarca	8	1,63%
16º	UNIVERSITY OF CALIFORNIA SYSTEM	EUA	8	1,63%
17º	UNIVERSITY OF TSUKUBA	Japão	8	1,63%
18º	KEIO UNIVERSITY	Japão	7	1,43%
19º	KYOTO UNIVERSITY	Japão	7	1,43%
20º	PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LABORATORY	EUA	7	1,43%

Fonte: Autoria própria

Como nas demais análises realizadas, o Japão novamente se destaca no ranking de investigações sobre acidente nuclear, com a representação de duas instituições nas duas primeiras colocações. Além disso, o Japão emplacou 12 instituições dentre as 20 que mais publicaram sobre o tema.

Isso é perceptível ao se observar a (Tabela 05) onde os vinte lugares ocupados com maiores números de registros analisados sobre acidente nuclear, estes são de origem japonesa, com isso percebe-se que autores japoneses pesquisaram mais sobre acidente nuclear após o acidente ocorrido no país.

Tabela 05 - Autores com maiores quantidades de registros

Ranking	Autor	País	Nº de Registros
1º	NOMURA S	Japão	8
2º	TSUBOKURA M	Japão	8
3º	OIKAWA T	Japão	7
4º	STEINHAUSER G	Alemanha	7
5º	HOSODA M	Japão	6
6º	KAMI M	Japão	6
7º	TAGAMI K	Japão	6
8º	ATARASHI-ANDOH M	Japão	5
9º	KOARASHI J	Japão	5
10º	MURAKAMI M	Japão	5
11º	UCHIDA S	Japão	5
12º	KATO S	Japão	4
13º	AONO T	Japão	4
14º	CHINO M	Japão	4
15º	FREEMAN SPHT	Escócia	4
16º	HIYAMA A	Japão	4
17º	HOU XL	China	4
18º	IGARASHI Y	Japão	4
19º	KAJINO M	Japão	4
20º	KANAZAWA Y	Japão	4

Fonte: Autoria própria

Por meio da pesquisa utilizando a base de dados WoS foi possível ainda perceber quais registros foram mais estudados por outros autores, isso se dá pelo número de citações que os registros apresentam. Na (Tabela 06) pode-se ver qual o autor do registro mais citado e o periódico em que o registro foi publicado. Tem-se também a quantidade de autores responsáveis pelo registro, país de publicação e ano.

Tabela 06 - Ranking dos autores mais citados.

Ranking	1º Autor	País	Nº Autores	Revista	Ano	Total Citações
1º	Yasunari, TJ	USA	6	PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA	2011	323
2º	Kinoshita, N	Japan	12	PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA	2011	240
3º	FUGAZZOLA, L	Italy	11	CANCER RESEARCH	1995	212
4º	Nagatani, K	Japan	11	JOURNAL OF FIELD ROBOTICS	2013	150
5º	WALSH, EJ	USA	2	AMERICAN SOCIOLOGICAL REVIEW	1983	123
6º	Tronko, MD	USA	10	CANCER	1999	119
7º	Manolopoulou, M	Greece	5	JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY	2011	113
8º	Adachi, K	Japan	4	SCIENTIFIC REPORTS	2013	111
9º	Bowyer, TW	USA	9	JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY	2011	103
10º	Nikiforov, YE	USA	4	ONCOGENE	1996	103
11º	Kaneyasu, N	Japan	5	ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY	2012	102
12º	BARANOV, A	USA	17	NEW ENGLAND JOURNAL OF MEDICINE	1989	99
13º	Hiyama, A	Japan	7	SCIENTIFIC REPORTS	2012	88
14º	Ten Hoeve, JE	USA	2	ENERGY & ENVIRONMENTAL SCIENCE	2012	86
15º	Hamada, N	Japan	2	JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY	2012	85
16º	Tokonami, S	Japan	6	SCIENTIFIC REPORTS	2012	81
17º	Bolsunovsky, A	Rússia	2	JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY	2011	79
18º	Matsunaga, T	Japan	6	SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT	2013	72
19º	Huang, L	China	6	PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA	2013	61
20º	Wittneben, BBF	England	1	ENVIRONMENTAL SCIENCE & POLICY	2012	60

Fonte: Autoria própria

A pesquisa revelou as categorias de publicações da *Web of Science* que mais tiveram ocorrência, como é possível ver na (Tabela 07). Essas informações são classificadas quanto a área em que os registros foram investigados, vale ressaltar que a base de dados pode classificar um mesmo registro em mais de uma categoria.

Tabela 07 - Identificação das categorias na base de dados WoS

Ranking	Categoria da <i>Web of Science</i>	Categorias	Registros
1º	ENVIRONMENTAL SCIENCES	CIÊNCIAS AMBIENTAIS	216
2º	NUCLEAR SCIENCE TECHNOLOGY	TECNOLOGIA DA CIÊNCIA NUCLEAR	130
3º	PUBLIC ENVIRONMENTAL OCCUPATIONAL HEALTH	SAÚDE OCUPACIONAL AMBIENTAL PÚBLICA	87
4º	RADIOLOGY NUCLEAR MEDICINE MEDICAL IMAGING	RADIOLOGIA MEDICINA NUCLEAR IMAGEM MÉDICA	84
5º	MULTIDISCIPLINARY SCIENCES	CIÊNCIAS MULTIDISCIPLINARES	41
6º	ENGINEERING ENVIRONMENTAL CHEMISTRY INORGANIC NUCLEAR	ENGENHARIA AMBIENTAL	24
7º		NUCLEAR INORGÂNICO QUÍMICO	20
8º	METEOROLOGY ATMOSPHERIC SCIENCES	METEOROLOGIA CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS	19
9º	CHEMISTRY ANALYTICAL	ANÁLISE QUÍMICA	18
10º	ECONOMICS	ECONOMIA	18
11º	ENVIRONMENTAL STUDIES	ESTUDOS AMBIENTAIS	16
12º	ENERGY FUELS	COMBUSTÍVEIS DE ENERGIA	15
13º	MEDICINE GENERAL INTERNAL	MEDICINE GENERAL INTERNAL	15
14º	BIOLOGY	BIOLOGIA	11
15º	ONCOLOGY	ONCOLOGIA	11
16º	TOXICOLOGY	TOXICOLOGIA	10
17º	FOOD SCIENCE TECHNOLOGY	TECNOLOGIA DA CIÊNCIA ALIMENTAR	9
18º	GEOSCIENCES MULTIDISCIPLINARY	GEOCIÊNCIAS MULTIDISCIPLINARES	9
19º	ENGINEERING CHEMICAL	ENGENHARIA QUÍMICA	8
20º	MARINE FRESHWATER BIOLOGY	BIOLOGIA MARINHA FRESCA	8

Fonte: Autoria própria

Na (Tabela 08), tem-se os periódicos de maior destaque no diz respeito ao número de publicações sobre o assunto pesquisado na WoS. Optou-se por classificar os 20 periódicos que deram ênfase aos registros, colocando o nome do periódico, a quantidade de registros e o percentual no que diz respeito aos 489 registros analisados.

Tabela 08 - Ranking de periódicos com maior número de publicações

Ranking	Periódico	Registros	%
1º	JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY	41	8,38%
2º	RADIATION PROTECTION DOSIMETRY	28	5,73%
3º	HEALTH PHYSICS	23	4,70%
4º	SCIENTIFIC REPORTS	18	3,61%
5º	ENVIRONMENTAL SCIENCE TECHNOLOGY	15	3,07%
6º	SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT	13	2,66%
7º	JOURNAL OF RADIOANALYTICAL AND NUCLEAR CHEMISTRY	11	2,25%
8º	PLOS ONE	9	1,84%
9º	ENERGY POLICY	8	1,64%
10º	JOURNAL OF RADIOLOGICAL PROTECTION	8	1,64%
11º	ANNALS OF NUCLEAR ENERGY	7	1,43%
12º	RADIOPROTECTION	7	1,43%
13º	APPLIED RADIATION AND ISOTOPES	6	1,23%
14º	ATMOSPHERIC ENVIRONMENT	5	1,02%
15º	CHEMOSPHERE	5	1,02%
16º	NUCLEAR SAFETY	5	1,02%
17º	INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENT AND POLLUTION	4	0,82%
18º	JOURNAL OF RADIATION RESEARCH	4	0,82%
19º	MARINE POLLUTION BULLETIN	4	0,82%
20º	PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA	4	0,82%

Fonte: Autoria própria

Por fim é possível ver na *Tabela 09), os dez periódicos com maior o fator de impacto, relacionado ao tema impacto ambiental.

Tabela 09 - Ranking dos periódicos com maior fator de impacto.

Ranking	Periódico	Fator de Impacto
1º	PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA	9,661
2º	ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY	6,198
3º	SCIENTIFIC REPORTS	5,578
4º	ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS	5,318
5º	SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT	4,900
6º	BIOGEOSCIENCES	3,851
7º	BMC EVOLUTIONARY BIOLOGY	3,221
8º	MARINE POLLUTION BULLETIN	3,146
9º	ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH	2,741
10º	JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY	2,310

Fonte: Journal Citation Reports

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por intermédio da pesquisa realizada na base de dados da WoS sobre acidente nuclear percebeu-se que o número de publicações teve um crescimento conforme o ano de cada acidente nuclear acontecido. Esse aumento no número de publicações se deu em 1979, com o acidente na central nuclear de Tree Mile Islande, com um total de 4 registros. Em seguida, o número de publicações sobre o tema voltou a crescer, após o acidente na usina nuclear de Chernobyl em 1986, chegando a 10 publicações em 1988, e chegou ao ápice com o acidente nuclear ocorrido em Fukushima em 2011, totalizando 54 registros em 2013, de 2011 até 2018 a quantidade de publicações foram de 277 registros publicados na base de dados WoS.

Foi possível ainda, identificar que Japão, Estados Unidos e China foram os países que mais publicaram artigos científicos sobre o tema acidente nuclear. O Japão liderou o ranking de publicações, isto está relacionado as proporções catastróficas que o país enfrentou após o acidente nuclear ocorrido. Dentre os diversos registros publicados por instituições de vários países, observou-se que um dos temas de maior atenção por parte dos autores está relacionada à área ambiental, com 37% dos registros, em seguida estar a área de segurança, com 31% dos registros. As publicações na área de segurança são referentes a medidas preventivas e protetivas contra acidente nuclear, onde os países de maior destaque nas publicações na área, foram EUA e Japão, cada um com 30 e 29 registros, respectivamente. Esse interesse dos norte-americanos e dos japoneses está relacionado ao fato de construção e utilização de usinas nucleares para suprir a demanda por energia elétrica nos países.

Outro ponto importante que foi observado durante a análise dos dados no que diz respeito ao fator de impacto, é que a revista de maior fator de impacto apresenta um menor número de publicações, isso se dá pelo fato de que apesar de possuir o maior fator de impacto, esta revista não é direcionada para a temática de energia nuclear e sim que se trata de uma revista multidisciplinar.

Nesta pesquisa percebeu-se que não houve publicações registradas das instituições brasileiras na base de dados da WoS acerca do assunto acidente nuclear, mesmo tendo ocorrido no país um acidente radiológico de nível 5 na escala INES.

Por meio da análise percebeu-se que países como: Estados Unidos, Rússia e Japão, países que possuem usinas nucleares, nas quais já ocorreu acidentes quando as mesmas estavam em funcionamento, como foi o caso do desastre na usina nuclear

de: *Tree Mile Island* Estados Unidos, Chernobyl Rússia e Fukushima Japão, tiveram um maior interesse em fazer investigações sobre as magnitudes que esses acidentes causaram em suas localidades e em outras regiões fazendo-se investigações na qualidade de vida das pessoas que vivem perto dos locais afetados.

Os registos também apresentaram relevância sobre consequências ambientais imediatas e complicações que poderiam surgir no futuro como por exemplo alterações genéticas, tanto em plantas quanto em animais.

Por fim, a maioria dos autores que publicaram sobre o tema acidente nuclear são de origem japonesa, essa quantidade de publicações desses autores está relacionada ao acidente nuclear de Fukushima.

5.1 Perspectivas para trabalhos futuros.

Realizar uma análise bibliométrica sobre segurança nuclear, destacando medidas preventivas contra acidentes nucleares.

REFERÊNCIAS

- ALVARADO, Rubén Urbizagástegui. A bibliometria no Brasil. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 13, n. 2, p. 91-105, jul. 1984.
- AQUINO, Afonso Rodrigues. A descoberta da estrutura atômica. **ComCiencia**, 2001. Disponível em: <
<http://repositorio.ipen.br/bitstream/handle/123456789/6123/08429.pdf?sequence=1>>
- ARAÚJO, Ronaldo Ferreira; ALVARENGA, Lidia. A bibliometria na pesquisa científica da pós-graduação brasileira de 1987 a 2007. **Revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, Florianópolis, v. 16, n. 31, p. 51-70, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/eb/article/view/1518-2924.2011v16n31p51>. Acesso em: 6 out. 2021.
- ATKINS, Pitter; JONES, Loretta. **Princípios de Química - Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente**. 5 ed.: Bookman, 2012.
- AZEVEDO, Ana Cecília Pedrosa de. Radioproteção em serviços de saúde. **Rio de**, 2005.
- BANDAZHEVSKY, Yuri, Danos causados pelas radiações ionizantes sobre órgãos e sistemas vitais de fetos e crianças pequenas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 27, n. 77, p. 201-206, 2013. Disponível em:
<http://www.scielo.br/pdf/ea/v27n77/v27n77a15.pdf>. Acesso em: 15. Mar. 2019.
- BARBOSA, Tania Mara Alves. **A resposta a acidentes Tecnológicos: o caso do acidente Radioativo de Goiânia**. 2009, 151f. Dissertação (título de mestre em Sociologia) – Faculdade de Economia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2009. Disponível em: < <https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/13311/1/2-%20A%20RESPOSTA%20A%20ACIDENTES%20TECNOL%3%93GICOS%20O%20CASO%20DO%20ACIDENTE%20RA.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2019.
- BORNHEIM, Gerd. **Filósofos pré-socráticos, Os**. Editora Cultrix, 2005.
- BROWN, Theodore L. et al. **Química a ciência central**. 13 ed. São Paulo: Person, 2016, 1188p.
- CALIAN, Bruna Roque. ENERGIA NUCLEAR. Projeto PIBIC – UNICAMP, 2012. Disponível em: <http://gpquae.iqm.unicamp.br/textos/T5.pdf>>. Acesso em: 04 mar.2019.
- CALLON, M. et al. Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research: The case of polymer chemistry. **Scientometrics**, v.22, n.1, p.155–205, 1991. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02019280>>. Acesso em: 04 nov. 2018.
- CAÑAS-GUERRERO, F.R. et al. Bibliometric analysis of research activity in the “Agronomy” category from the Web of Science, 1997–2011. *European Journal of*

Agronomy, v. 50, p. 19–28, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S116103011300066X#>>. Acessado em: 02 nov. 2018.

CARDOSO, Eliezer de Moura. **Informação Técnica**. Apostila do Programa de Integração da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Rio de Janeiro, 49p. 2003. . Disponível em: <http://www.cnem.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/programa-de-informacao-cnem.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2018, 23:50:00.

CARVALHO, Joaquim Francisco de. O espaço da energia nuclear no Brasil. **Estudos Avançados**, n. 26, 2012.

CARVALHO, Joaquim Francisco de. Uma gênese da bomba. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 29, n. 84, p. 197-208, agosto, 2015. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142015000200197&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 27 de fev. 2019.

CARVALHO, Paulo Victor Rodrigues de; VIDAL, Mario Cesar Rodriguez; CARVALHO, Eduardo Ferro de. Análise de micro incidentes na operação de usinas nucleares: estudo de caso sobre o uso de procedimentos em organizações que lidam com tecnologias perigosas. **Gestão & Produção**, v. 12, p. 219-237, 2005.

CARVALHO, Regina Pinto de; OLIVEIRA, Silvia Maria Velasques de. **Aplicações da energia nuclear na saúde**. São Paulo: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), 2017. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/v1/arquivos_diversos/Livros-e-Estudos/aplicacoes-da-energia-nuclear-na-saude.pdf.

CERCONI, Claudinei; MELQUIADES, Fábio Luiz; TOMINAGA, Tânia. Energia nuclear, o que é necessário saber? **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 11, n. 1, p. 9-34, 2009.

CHEMELLO, Emiliano. Chernobyl: a luta contra um inimigo ‘invisível’. Série acidentes explicados pela ciência, Química virtual, out. 2010. Disponível em: <<http://www.quimica.net/emiliano/artigos/2010outubro-chernobyl.pdf>>. Acesso em: 12 de mar. 2019.

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Apostila educativa: História da Energia Nuclear**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em :<<http://www.cnem.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/historia-da-energia-nuclear.pdf>> Acesso em: 12 de fev. 2019.

COATES, V. et al. On the Future of Technological Forecasting. **Elsevier Science**, North-Holland, v.67, p.1-17, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162500001220>>. Acesso em: 03 nov. 2018.

CORRÊA, Carlos. Modelo atômico de Rutherford. **Revista de Ciência Elementar**, n. 2 v. 2 p. 42- 43, abr. 2014. Disponível em:

<https://www.fc.up.pt/pessoas/jfgomes/pdf/vol_2_num_2_76_art_modeloAtomicoRutherford.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2019.

DINIZ, Bismarck Duarte; VIEIRA, Ângela Diniz Linhares. Os Desastres Ambientais Continuam: as lições que a Usina Nuclear Fukushima deveria ter aprendido com o acidente nuclear Chernobyl, 2014. Disponível em:<<http://www.publicadireito.com.br/artigos/?cod=f1b6fac213a8baf8>>. Acesso em: 04 mar. 2019.

DUPUY, Jean Pierre. A catástrofe de Chernobyl vinte anos depois. **Estudos Avançados**, v. 21, p. 243-252, 2007. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/ea/a/JtxTfVmCfLWJrJBXKFRQxdt/?lang=pt>>

EMICO, OKUNO. As bombas atômicas podem dizimar a humanidade-Hiroshima e Nagasaki, há 70 anos. **estudos avançados**, v. 29, n. 84, p. 209-218, 2015.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). Matriz Energética e Elétrica. Ministério de Minas e Energia – MME, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 13 de dez. 2021.

FERNANDES, Fernanda de Moura. **No núcleo do átomo: Os usos da energia nuclear e a inserção internacional do Brasil (1946-1985)**. 2015, 350f. Tese (Doutora em Relações Internacionais) - Instituto de Relações Internacionais, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2015. Disponível em:http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/19023/1/2015_FernandadeMouraFernandes.pdf. Acesso em: 19 mar. 2019.

FERREIRA, Ana Gabriela Clipes. Bibliometria na avaliação de periódicos científicos. **DataGramaZero- Revista de Ciência da Informação** v. 11, n.3, jun. 2010. Disponível em: <https://www.brapci.inf.br/index.php/res/v/7110>. Acesso em: 20 mar. 2019.

FERREIRA, Vinícius VM; SOARES, Wellington A. Insucessos em empreendimentos nucleares devido a falhas em processos de Comunicação Pública. **Intercom: Revista Brasileira de Ciências da Comunicação**, v. 35, p. 313-329, 2012.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Fusão Nuclear. Brasil Escola**. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/fusao-nuclear.htm>>. Acesso em: 26 mar. 2019.

GRASSI, Giovanni. **Impressões e ações de professores que visitaram o centro regional de ciências nucleares do Centro-oeste: duas décadas do acidente com o cézio-137 em Goiânia**. 2010, 82 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciência e Matemática). Universidade Federal de Goiás, Programa de Mestrado em Educação em Ciências e Matemática, Goiânia, 2010. Disponível:<https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/97/o/Dissertacao_Giovanni_Grassi.pdf>

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; KRANE, Kenneth, S. **Física 4**. 4ª ed. São Paulo: LTC, 2004, 412p.

HAMMARSTRON, Heloisa De Jesus et al. APLICAÇÕES DA RADIAÇÃO NA AGRICULTURA. **Mostra Interativa da Produção Estudantil em Educação Científica e Tecnológica**, 2017.

HE, Qin. Knowledge discovery through co-word analysis. **Library Trends**, v.48, n.1, p.133–159, 1999. Disponível em: <https://www.ideals.illinois.edu/bitstream/handle/2142/8267/librarytrendsv48i1i_opt.pdf?sequ>. Acesso em: 01 nov. 2018.

HIRSCH, Helmut et al. Perigos dos reatores nucleares: riscos na operação da tecnologia nuclear no século XXI. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 253-257, abr. 2007 Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142007000100020&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 28 fev. 2019.

HUSSEIN, M. S. Energia Nuclear. **REVISTA USP**, n. 91, p. 56-63, 2011. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/34845>. Acesso em: 21 set. 2021.

IAEA. Organismo Internacional de Energia Atômica. **Qual é a Energia Nuclear? A Ciência da Energia Nuclear**, 2021. Disponível em: <<https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-energia-nuclear-la-ciencia-de-la-energia-nucleoelectrica>>. Acesso em 27. Jan.2021.

IGAMI, Mery Piedad Zamudio. **Elaboração de indicadores de produção científica com base na análise cientométrica das dissertações e teses do IPEN**. 2011. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear - Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-15092011-150503/pt-br.php>. Acesso em: 03 nov. 2018.

IPEN- INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. **Relatório do Acidente Radiológico em Goiânia**, 1988, relatório técnico. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/outros/18866.pdf>>. Acesso em: 07 dez. 2019.

KOSTOFF, R.N. et al. Database Tomography for information retrieval. **Journal of Information Science**, v.23, n.4, p.301–311, 1997. Disponível em: <<http://jis.sagepub.com/content/23/4/301.short>>. Acesso em: 01 nov. 2018.

LOPES, Cesar V.M; MARTINS, Roberto de Andrade. J. J. Thomson e o uso de analogias para explicar os modelos atômicos: o ‘pudim de passas’ nos livros texto. ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9, 2009, nov. Florianópolis. Disponível em: <<http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viiienpec/pdfs/1682.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2019, 8:22:19.

LOPES, S. et al. A bibliometria e a avaliação da produção científica: indicadores e ferramentas. **ACTAS dos Congressos Nacionais de Bibliotecários, Arquivistas e Documentalistas**, n. 11, 2012. Disponível em:

<<https://www.bad.pt/publicacoes/index.php/congressosbad/article/view/429> >.

Acesso em: 04 nov. 2018.

LOTKA, A. J. The frequency distribution of scientific productivity. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, v. 16, n. 12, p. 317-323, 1926.

LUIZ, Adir Moysés. **Ótica e Física Moderna: teoria e problemas resolvidos**. 1 ed. v.4, São Paulo: Livraria da física, 2009, 324p.

MACHADO JUNIOR, Celso et al. As Leis da Bibliometria em Diferentes Bases de Dados Científicos. **Revista de Ciências da Administração**, Florianópolis, v.18, n. 44, p. 111-123, abr. 2016. Disponível em:

<[https://periodicos.ufsc.br/index.php/adm/article/view/2175-](https://periodicos.ufsc.br/index.php/adm/article/view/2175-8077.2016v18n44p111)

8077.2016v18n44p111>. Acesso em: 05 nov. 2018.

MELO, Hilton Andrade de, **Conceitos Básicos Sobre A Energia Nuclear**.2012.

Disponível em:

<<http://www.hamello.com/sitebr/phocadownload/aconceitosbasico2.pdf>>. Acesso em: 17 fev.2019.

MERÇON, Fábio; QUADRAT, Samantha Viz. A radioatividade e a história do tempo presente. **Química Nova na Escola**, v. 19, p. 27-30, 2004.

MILOJEVIC S. et al. The cognitive structure of library and information science.

Journal of the American Society for Information Science and Technology, v.62, n.10, p.1933–1953, 2011.

MIZRAHI, Salomon S. Mulheres na Física: Lise Meitner. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 27, n. 4, p. 491-493, dez. 2005. Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172005000400001&lng=en&nrm=iso)

11172005000400001&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 18 fev. 2019.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Energia no Mundo (2015 – 2016) - Indicadores. 2017. Disponível em:

[http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/14+-+Energia+no+Mundo+-+Matrizes+e+Indicadores+2017+-+anos+ref.+2015+-+16+%28PDF%29/60755215-](http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/14+-+Energia+no+Mundo+-+Matrizes+e+Indicadores+2017+-+anos+ref.+2015+-+16+%28PDF%29/60755215-705a-4e76-94ee-b27def639806;jsessionid=23A29A5505323A1DD0ED0E7D02E956E2.srv155)

705a-4e76-94ee-b27def639806;jsessionid=23A29A5505323A1DD0ED0E7D02E956E2.srv155.

Acesso em: 03 nov. 2018. 42p.

MONTALVÃO, Edmundo. **Energia Nuclear: Risco ou Oportunidade?**. Brasília, nov. 2012, 19p. Apostila do Núcleo de Estudo e Pesquisa do Senado. Disponível em:

<https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td-108-energia-nuclear-risco-ou-oportunidade>.

Acesso em: 01 mar. 2019.

MUNIZ, R. Sérgio. **Constituintes do átomo: o elétron**. 2014, 10p. Apostila do Curso de Licenciatura em Ciências, Universidade de São Paulo (USP). Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/179954/mod_resource/content/0/T3_Capitulo3_v2.pdf Acesso em: 13 de fev.2019.

Nussenzveig, Herch Moysés Curso de Física básica – vol.4 / H. Moysés Nussenzveig -1ª edição - - São Paulo: Editora Blucher, 1998.

OKUBO, Yoshiko. Bibliometric indicators and analysis of research systems: methods and examples. OECD Science, Technology and Industry Working Papers. Paris, 1997. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1787/208277770603>>. Acesso em: 02 nov. 2018.

OKUNO, Emico. Efeitos Biológicos das Radiações Ionizantes: Acidente Radiológico de Goiânia. **Estudos Avançados**. São Paulo, v. 27, n. 77, p. 185-200, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142013000100014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 27 fev. 2019.

OKUNO, Emico; CALDAS, Iberê Luiz; CHOW, Cecil. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: harbra Ltda., 1982, 490f.
OKUNO, Emico; YOSHIMURA, Elisabeth Mateus. **Física das radiações**. Oficina de Textos, 2016.

OLIVEIRA, Ótom Anselmo de; FERNANDES, Joana D'Arc Gomes. **Evolução dos Modelos Atômicos de Leucipo a Rutherford**. 2006, 20p. Apostila da disciplina Arquitetura Atômica e Molecular. Natal, Editora da Universidade do Rio Grande do Norte (EDUFRN). Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/denilsonmaia/evolucao-dos-modelos-atomicos>. Acesso em: 13 fev. 2019.

PAO, M. L. Concepts of information retrieval. Englewood, Colorado: Libraries Unlimited, Inc., 1989. 285 p.

PEREIRA, Alexandre Marcelo. **A Física das Radiações em Sala de Aula: do Projeto a Prática**. 2014, 81f. Dissertação (Mestre em Ensino de Física)- Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, fev. 2014. Disponível em: https://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2014_Alexandre_Pereira/dissertacao_Alexandre_Pereira.pdf . Acesso em: 06 mar. 2019.

PERUZZO, Tito Miragaia; CANTO, Eduardo Leite do: **Química abordagem do cotidiano**. 1ª ed. v. 2. São Paulo: editora Moderna, 1993.

PINTO, Adilson Luiz et al. Visibilidade e Monitoramento Científico na área Nuclear e Ciências relacionadas: uma perspectiva a partir da produtividade do IPEN-CNEN/SP. **Perspectivas em Ciência da Informação**. Belo Horizonte, v. 15, n. 2, p. 198-218, Ago. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141399362010000200013&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 03 nov. 2018.

PIZZANI, Luciana et al. A arte da pesquisa bibliográfica na busca do conhecimento. **RDBCI: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, Campinas-SP, v. 10, n. 2, p. 53-66, jul. 2012. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rdbci/article/view/1896>>. Acesso em: 01 nov. 2018.

RÊGO, Florbela Martins. **As Radiações no Ensino**. 2004. Dissertação (Mestrado). Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Física, Lisboa, 2004.

RIBEIRO, Daniel. Fusão Nuclear. **Revista de Ciência Elementar**, v. 2, n.4, p.33-33, out. 2014. Disponível em: https://www.fc.up.pt/pessoas/jfgomes/pdf/vol_2_num_4_109_art_fusaoNuclear.pdf. Acesso em: 26 de mar de 2019.

RIVEROS, José M. O legado de Niels Bohr. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 7, p. 931-932, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422013000700001&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 16 fev. 2019.

SANTOS, P. N. C.; SOUZA, V. L B. Fukushima: após um ano do acidente, quais as influências nos meios: físico, biológico e antropogênico? **Caderno de Graduação-Ciências Biológicas e da Saúde**, Recife, v. 1, n. 1, p. 67-73, ago. 2013. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/facipesaude/article/view/1060>>.

SCHMIDT, Luísa et al. The Fukushima nuclear disaster and its effects on media framing of fission and fusion energy technologies. In: **2015 4th International Conference on Advancements in Nuclear Instrumentation Measurement Methods and their Applications (ANIMMA)**. IEEE, 2015. p. 1-11.

SECCO, Marcello. Desenvolvimento de dispositivo movimentador automatizado de amostras com vista à aplicação em medidas de radioisótopos que possuem curto tempo de meia-vida. **IPEN. São Paulo**, 2016.

SEGUIMOTO, Djmes Yoshikazu de Lima; CASTILHO; Maria Augusta. Chernobyl - a Catástrofe. **Revista Unincor**- Universidade Vale do Rio Verde, v.12, n. 2, 2014. Disponível em: <http://periodicos.unincor.br/index.php/revistaunincor/article/view/1506>. Acesso em: 19 de abr. 2019.

SILVA, Gláucia; MELO, Thaís, Barroso. Para que serve a escala de comunicação de risco Nuclear? Reflexões sobre o acidente de Fukushima. **Revista de Ciências Sociais - Política & Trabalho**, João Pessoa, v. 2, n.37, p. 201-217, out. 2012. Disponível em: www.periodicos.ufpb.br/index.php/politicaetrabalho/article/download/14900/8459. Acesso em: 09 mar.2019

SOUZA, Líria Alves de. "Decaimento radioativo natural"; **Brasil Escola**, 2019. Disponível em: <<https://brasilestela.uol.com.br/quimica/decaimento-radioativo-natural.htm>>. Acesso em: 11 mar. 2019.

TAUHATA, L. et al. Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos – 10ª revisão abril / 2014 – Rio de Janeiro – IRD. **CNEN**, 344p.

TERREMOTO, Luís Antônio Albiac. Disciplina TNR5764 Fundamentos de Tecnologia Nuclear Reatores. **IPEN, Sao Paulo, Brazil**, 2004.

TIJSSSEN, R.J.W; VAN RAAN A.F.J. Mapping co-word structures: A comparison of multidimensional scaling and leximappe. **Scientometrics**, v.15, n.3–4, p.283–295, 1989. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF02017203>. Acesso em: 04 nov. 2018

UNEP- Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Radiação: Efeitos e Fontes. Apostila, 2016. Disponível em: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7790/-Radiation_Effects_and_sources-2016Radiation_-_Effects_and_Sources_PT.pdg.pdf.pdf?sequence=13&isAllowed=y. Acesso em 20 de mar. 2019.

VARGAS, Rosely Andrade; VANZ, Samile Andrea de Souza. A produção científica do Rio Grande do Sul em Ciências Agrárias representada na base Web of Science. **Ciência Rural**. v.44, n.5, p.950-956, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010384782014000500030&script=sci_arttext . Acesso em: 03 nov. 2018.

VIEIRA, Suzane de Alencar. Césio-137, um drama recontado. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 27, n. 77, p. 217 – 236, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ea/v27n77/v27n77a17.pdf> . Acesso em: 05 mar. 2019.

XAVIER, Allan Moreira et al. Marcos da história da radioatividade e tendências atuais. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 83-91, Fev. 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000100019&lng=en&nrm=iso . Acesso em 10 mar. 2019.

YOSHIDA, Nelson Daishiro. Análise bibliométrica: um estudo aplicado à previsão tecnológica. *Future Studies Research Journal*, v.2, n.1, p.52-84, 2010. Disponível em: <http://revistafuture.org/FSRJ/article/view/45> . Acesso em: 02 nov. 2018.

ZARUR, Roberto Ramos; COSTA, Maria Alice Nunes. Como melhorar a estratégia de comunicação da questão nuclear no Brasil. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 9, 2012, RJ. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos12/56716715.pdf>,. Acesso em: 29 out. 2018.