



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE
CURSO DE QUÍMICA - LICENCIATURA



**RADIOATIVIDADE: A EVOLUÇÃO DO ENTENDIMENTO CONCEITUAL AO
LONGO DA FORMAÇÃO DOCENTE EM QUÍMICA NUMA PERSPECTIVA CTSA.**

CAMILA VIVIANE SILVA RIBEIRO

Caruaru – PE

2017

CAMILA VIVIANE SILVA RIBEIRO

RADIOATIVIDADE: A EVOLUÇÃO DO ENTENDIMENTO CONCEITUAL AO LONGO DA FORMAÇÃO DOCENTE EM QUÍMICA NUMA PERSPECTIVA CTSA.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do curso de Química Licenciatura do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Jane Maria Gonçalves Laranjeira

CARUARU

2017

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier CRB/4-1242

R484r Ribeiro, Camila Viviane Silva.

Radioatividade: a evolução do entendimento conceitual ao longo do da formação docente em Química numa perspectiva CTSA. / Camila Viviane Silva Ribeiro. – 2017.

80f. ; il. : 30 cm.

Orientadora: Jane Maria Gonçalves Laranjeira.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Licenciatura em Química, 2017.

Inclui Referências

1. Radioatividade. 2. Química – Estudo e ensino. 3. Concepção. I. Laranjeira, Jane Maria Gonçalves (Orientadora). II. Título.

371.12 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2017-499)

CAMILA VIVIANE SILVA RIBEIRO

**“RADIOATIVIDADE: A EVOLUÇÃO DO ENTENDIMENTO CONCEITUAL AO
LONGO DA FORMAÇÃO DOCENTE EM QUÍMICA NUMA PERSPECTIVA
CTSA.”**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Pernambuco,
como parte das exigências para a obtenção do título de graduado em
Química-Licenciatura.

Caruaru, 24 de Agosto de 2017

Banca Examinadora:

**Prof.^a Dr.^a Jane Maria Gonçalves Laranjeira
(Orientadora)**

**Prof. Dr. Augusto César Lima Moreira
(Examinador 1)**

**Prof.^a Dr.^a Roberta Dias Pereira
(Examinadora 2)**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais José Clodomildo Ribeiro e Vilma Maria da Silva Ribeiro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela dádiva alcançada e pela oportunidade a qual me foi dada, bem como por toda força e sabedoria concedida ao longo do curso, as quais me fizeram chegar até aqui.

Agradeço aos meus pais Clodomildo Ribeiro e Vilma Ribeiro por todo esforço que tiveram para me manter aqui, e por todo apoio que me deram durante toda a minha vida, devo esta graça alcançada a eles.

Agradeço aos meus irmãos, Cleiton Ribeiro e Cleber Ribeiro.

Agradeço a todos os meus amigos pelo total apoio ao longo do curso, os quais foram muitos importantes nesta jornada.

Agradeço em especial a minha professora e orientadora Dr. Jane Maria Gonçalves Laranjeira, por todo empenho e contribuição ao longo da construção do meu trabalho.

Agradeço aos docentes desta instituição que sempre estiveram dispostos a ajudar-me e a contribuir para o meu aprendizado.

Agradeço também a Universidade Federal de Pernambuco – Centro Acadêmico do Agreste por todo ensino de qualidade proporcionado aos seus discentes, bem como por todo aprendizado construído ao longo desse ciclo tão majestoso.

Obrigada a todos!

RESUMO

A radioatividade trata-se de um fenômeno, natural e artificial. Que proporciona a sociedade vários benefícios, apesar de ainda serem poucos divulgados, conhecidos ou compreendidos. Esta ciência e suas tecnologias devem integrar os currículos do Ensino Médio e do Ensino superior. Pretende-se com este trabalho conhecer um pouco sobre a concepção que os discentes de um curso em formação docente em Química possuem sobre a radioatividade voltada para o enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente (CTSA). Para isto, foi levantada uma pesquisa de modo a conhecer o nível de conhecimento possuído por dois grupos de discentes (ingressantes e egressos) deste referido curso. O estudo sobre a radioatividade foi realizado através da aplicação de um questionário aberto, onde o mesmo era dividido em duas etapas A e B, a etapa A foi realizada para os dois grupos de discentes, a etapa B, no entanto, foi relacionada apenas para os discentes egressos. Após todos os dados terem sido recolhidos, foi feita a análise qualitativa seguida de uma pesquisa explicativa, utilizando-se o estudo de caso, para que assim fossem analisados todos os questionários de forma objetiva e precisa para o tema estudado, podendo assim comparar e separar por níveis os discentes ingressantes e egressos. Através deste estudo e das análises obtidas, foi possível concluir que os discentes não possuem um conhecimento aprofundado sobre a radioatividade num enfoque CTSA, esta concepção pode ser observado para os dois grupos. Para isso, espera-se que o curso reveja suas omissões em relação a esta temática para os discentes, uma vez que, possivelmente refletirá em um estudo fragilizado e sem aprofundamento sobre a ciência nuclear e suas tecnologias.

Palavras-chave: Radioatividade; Ensino; Concepção.

ABSTRACT

Radioactivity is a phenomenon, natural and artificial. That provides society with several benefits, although they are still few publicized, known or understood. This science and its technologies must integrate the curricula of High School and Higher Education. It is intended with this work to know a little about the conception that the students of a course in teacher education in Chemistry have on the radioactivity focused on the Science-Technology-Society-Environment (STSE) approach. For this, a research was conducted in order to know the level of knowledge possessed by two groups of students (students and graduates) of this course. The study on radioactivity was performed through the application of an open questionnaire, where it was divided into two stages A and B, step A was performed for both groups of students, step B, however, was related only to The graduating students. After all the data were collected, the qualitative analysis was carried out followed by an explanatory research, using the case study, so that all the questionnaires were analyzed in an objective and precise way for the studied subject, being able to compare and separate By levels the incoming and outgoing students. Through this study and obtained analyzes, it was possible to conclude that the students do not have an in depth knowledge about the radioactivity in a STSE approach, this conception can be observed for the two groups. For this, the course is expected to review its omissions in this area for students, as it may reflect in a weakened study and without deepening on nuclear science and its technologies.

Keywords: Radioactivity; Teaching; Conception.

LISTA DE TABELA

Tabela 1	A linha do tempo da Ciência Nuclear nos séculos XIX e XX	29
Tabela 2	Representação e valores de carga e massa das partículas subatômicas.	33
Tabela 3	Características das emissões radioativas	44
Tabela 4	Modos de decaimento nuclear e emissões radioativas características.	46
Tabela 5	Frequência, Comprimento de onda e Energia das radiações Raios-X e gama.	49
Tabela 6	Limites de Doses Anuais (Efetiva e Equivalente) [a].	51
Tabela 7	Porcentual dos discentes ingressos e egressos participantes da pesquisa que vivenciaram o conceito de radioatividade na sua formação.	59
Tabela 8	Entendimentos dos discentes ingressantes de um curso de formação docente em Química sobre radioatividade por nível de conhecimento.	61
Tabela 9	Entendimento dos discentes egressos de um curso de formação docente em Química sobre radioatividade.	64
Tabela 10	Significação da formação docente para o entendimento dos discentes egressos sobre radioatividade e os tópicos aprofundados no processo de ensino-aprendizagem do referido curso.	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Séries radioativas naturais.	12
Figura 2	Representação simbólica de um nuclídeo X com valores de Z e A.	33
Figura 3	Representação de dois isótopos do Neônio.	34
Figura 4	Variação da Energia Potencial (PE) de um par de nucleons vs. distancia de separação entre eles (r).	35
Figura 5	Defeito de massa entre o núcleo e os nucleons livres.	36
Figura 6	Curva da energia de ligação por núcleon em função do número de massa.	37
Figura 7	Fontes natural e artificial de radiações.	39
Figura 8	Região instável de nêutrons (linha azul) e prótons (linha vermelha).	41
Figura 9	Faixa de estabilidade nuclear ampliada de alguns nuclídeos.	43
Figura 10	Representação das transmutações nucleares através de equações.	45
Figura 11	Categoriads de radiações ionizantes.	47
Figura 12	Raios X de bremsstrahlung e características produzida pela interação de partícula carregada (elétron) com a eletrosfera do átomo.	49
Figura 13	Representação da interação da radiação com a matéria.	50
Figura 14	Efeitos biológicos decorrentes da exposição às radiações ionizantes.	52
Figura 15	Gráfico com o nível de aprofundamento sobre radioatividade adquiridos pelos discentes ingressantes num curso de formação docente durante a formação no Ensino Médio.	60
Figura 16	Gráfico com o nível de aprofundamento sobre radioatividade avaliado pelos discentes egressos participantes da pesquisa adquiridos durante a formação no Ensino Médio/ou Superior.	64
Figura 17	Classificação das respostas dos discentes egressos quanto à natureza e a origem atômica da radioatividade.	67
Figura 18	Classificação das respostas dos discentes ingressantes quanto à natureza e a origem atômica da radioatividade.	68

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	20
2.1	Objetivos específicos	20
2.2	Objetivo geral	20
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
3.1	A curricularização da Ciência nuclear e suas tecnologias no contexto CTSA...	21
3.2	O contexto histórico da descoberta da radioatividade	24
3.3	O núcleo e suas radiações	32
3.4	Efeitos biológicos das radiações ionizantes	50
4	METODOLOGIA	55
4.1	A tipologia do estudo	55
4.2	Delimitação da população e da amostra	55
4.3	A coleta de dados	56
4.4	Análise de dados	57
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
5.1	Concepções dos discentes, ingressantes e egressos de um curso de formação docente em química sobre a radioatividade	58
5.2	Identificar os fatores, pedagógicos e curriculares, que contribuíram para o nível de evolução conceitual observado ao longo do processo formativo desses discentes	69
5.3	Compreensão da radioatividade numa perspectiva CTSA	72
6	CONCLUSÃO	74
	REFERÊNCIAS	76
	APÊNDICE A: INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS PARA OS DISCENTES INGRESSANTES DO CURSO INVESTIGADO.	79
	APÊNDICE B: INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS PARA OS DISCENTES EGRESSOS DO CURSO INVESTIGADO.	80

1 INTRODUÇÃO

O fenômeno da radioatividade natural do urânio, descoberto pelo físico francês Antoine Henri Becquerel em 1896 (MOREIRA, 1990) e caracterizado cientificamente pelos cientistas Marie Skłodowska Curie e Pierre Curie (CURIE & CURIE, 1898 apud MOREIRA, 1990) com a descoberta de novos elementos naturais radioativos além do urânio, foi de importância fundamental para o entendimento da estrutura atômica da matéria ao longo dos últimos séculos.

A radioatividade trata-se de um fenômeno, natural ou artificial, inerente a determinado tipo de nuclídeo (radionuclídeo ou nuclídeo radioativo) que se transmuta em outro tipo de nuclídeo (estável ou radioativo), com emissão de radiação – partículas e radiação eletromagnética de alta energia. Nuclídeo (do latim *nucleus* “núcleo”) é uma espécie atômica caracterizada pela quantidade de prótons e de nêutrons além do estado energético do núcleo (IUPAC, 2017). Prótons (p) e nêutrons (n) são denominados de nucleons (partículas no núcleo do átomo), sendo a relação entre a quantidade de nêutrons e prótons (n:p) determinante da estabilidade de um dado nuclídeo.

Trata-se, portanto de uma transmutação nuclear – transformação ou reação nuclear – de um dado radionuclídeo e que ocorre de forma espontânea (natural) ou induzida (artificial) pelo bombardeamento de uma substância com partículas aceleradas, tais como prótons ou nêutrons com velocidades elevadas. Na natureza existem três séries de nuclídeos radioativos, ou seja, três séries radioativas naturais: a série do urânio, a série do tório e a série do actínio, cujas denominações fazem referência ao nuclídeo inicial de cada uma destas séries e que são, respectivamente, o U-238 e o Th-232, com exceção da série do actínio que inicia com o isótopo U-235.

Na Figura 1 pode-se observar uma representação esquemática destas séries radioativas naturais identificando-se em cada uma delas: (i) O radionuclídeo inicial (ou primordial) das séries – U-238, Th-232 e U-235 – cujos tempos de meia vida, da ordem de bilhões de anos, são $4,51 \times 10^9$ anos, $1,4 \times 10^{10}$ anos, $7,13 \times 10^{10}$ anos, respectivamente. (ii) As transmutações sucessivas de cada radionuclídeo, sempre por emissão alfa (α) ou beta (β) sempre associadas a emissão de radiação eletromagnética gama (γ). Na emissão alfa o radionuclídeo que decai (Pai) se transmuta em outro radionuclídeo (Filho) que possui número atômico que é duas vezes menor ($Z-2$) que o radionuclídeo Pai (Z), sendo esta variação indicada, na Figura 1, pela seta vertical para baixo. A partícula beta (ou elétron) é emitida na transformação de um nêutron em um

próton num núcleo atômico com excesso de nêutrons. Neste caso o radionuclídeo Filho formado neste tipo de decaimento possui número atômico uma unidade maior ($Z+1$) comparado com o número atômico do nuclídeo Pai (Z), sendo esta variação indicada pela seta vertical inclinada para cima na Figura 1. (iii) O respectivo tempo de meia vida de cada radionuclídeo da série (tempo necessário para que 50% dos átomos presentes numa dada amostra do material se desintegrem) e cujo valor é característico de cada radionuclídeo. Os tempos de meia vida dos radionuclídeos variam numa ampla faixa de ordem de grandeza. (iv) O modo de desintegração de cada radionuclídeo até a formação do último elemento na série, que são respectivamente Pb-206, Pb-208 e Pb-207 nestas séries naturais,

Figura 1: Séries radioativas naturais

	U-238 SERIES				Th-232 SERIES				U-235 SERIES			
Np												
U	U-238 4.51×10^9 y		U-234 2.48×10^5 y							U-235 7.13×10^8 y		
Pa		↓ Po-234 1.18 m								↓ Pa-231 3.2×10^4 y		
Th	Th-234 24.1 d		Th-230 7.5×10^4 y		Th-232 1.39×10^{10} y		Th-228 1.90 y		Th-231 25.6 h		Th-227 18.6 d	
Ac						↓ Ac-228 6.13 h				↓ Ac-227 22.0 y		
Ra			Ra-226 1622 y			Ra-228 6.7 y	Ra-224 3.64 d				Ra-223 11.1 d	
Fr												
Rn			Rn-222 3.825 d				Rn-220 545 s				Rn-219 3.92 s	
At												
Po			Po-218 3.05 m	Po-214 1.6×10^{-4} s	Po-210 138.4 d		Po-216 0.158 s	Po-212 65% 3.0×10^{-7} s			Po-215 1.83×10^{-3} s	
Bi				Bi-214 197 m	Bi-210 5.0 d			Bi-212 60.5 m			Bi-211 2.16 m	
Pb			Pb-214 26.8 m	Pb-210 214 y	Pb-206 stable lead isotope		Pb-212 10.6 h	35% ↓ Pb-208 stable lead isotope			Pb-211 36.1 m	Pb-207 stable lead isotope
Tl							Tl-208 3.1 m				Tl-207 4.79 m	

TEXT-FIG. 1.—Natural radioactive decay series.

Fonte: <https://doi.org/10.1017/S0080455X00001727>

Uma partícula α (alfa) é constituída por um agregado de dois prótons e dois nêutrons e resulta do decaimento radioativo de nuclídeos $Z > 83$. Sendo constituída por dois prótons, mas sem a mesma quantidade de elétrons, possui carga total +2. A sua composição é idêntica à do

núcleo de hélio, com 2 prótons e 2 nêutrons, e representada como ${}^4\text{He}^{2+}$. Portanto, no modo de decaimento com emissão de partícula alfa ($Z=2$; $A=4$) o nuclídeo filho terá número atômico igual ao do nuclídeo pai, reduzido de 2 unidades (Z_p-2) e número de massa igual à do nuclídeo pai reduzido de quatro unidades ($A_p - 4$).

Uma partícula beta (β^-), também denominada de negatron, é um elétron emitido numa transmutação nuclear quando um nêutron, no núcleo do um radioisótopo com excesso de nêutrons, se transforma num próton – que fica no núcleo – e num elétron (e^-) e num antineutrino (ν^*) – que são ejetados do núcleo – de acordo com a equação (1):



Portanto neste modo de decaimento o nuclídeo Filho terá número atômico igual ao do nuclídeo Pai aumentado de uma unidade (Z_p+1) enquanto que o número de massa permanece inalterado. Como pode ser constatado o elemento primordial nas três séries radioativas naturais possuem tempo de meia vida da ordem de bilhões de anos e sendo assim, ocorrem no nosso Planeta desde a sua formação.

Além da radioatividade natural, o desenvolvimento da Ciência Nuclear e das suas tecnologias, a partir do final do Século XIX, têm permitido aplicações amplas desta Ciência em contextos diversos da nossa sociedade, entre os quais merecem destaque:

- Segundo a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) traçadores radioativos são radioisótopos que, usados em pequeníssimas quantidades, podem ser acompanhados por detectores de radiação. O uso de radioisótopos como traçadores radioativos é possível porque as radiações emitidas por radioisótopos podem atravessar a matéria e, dependendo da energia que possuam, são detectadas através de aparelhos apropriados (os detectores de radiação) permitindo, assim, o acompanhamento do seu deslocamento e percurso.
- O uso amplo dos radioisótopos e da tecnologia nuclear na medicina, tanto em terapias como no diagnóstico de doenças. O tecnécio-99 (Tc-99m) é utilizado, para obtenção de mapeamentos (cintilografia) de diversos órgãos – cintilografia renal, cerebral, hepatobiliar (fígado), pulmonar e óssea; diagnóstico do infarto agudo do miocárdio e em estudos circulatórios; cintilografia de placenta – na radioterapia fontes radiativas (césio-137 e cobalto-60) são usadas para destruir células de tumores, uma vez que estas são mais sensíveis à radiação do que os tecidos normais.

- Aplicações dos radioisótopos na agricultura na eliminação das pragas sem qualquer poluição e impactos na saúde e no meio ambiente comumente associados aos produtos químicos usados como agrotóxicos e no acompanhamento do metabolismo das plantas como traçadores radioativos.
- Uso de radioisótopos na irradiação dos alimentos garantindo um tempo maior de conservação dos alimentos além da segurança alimentar.
- O uso da tecnologia nuclear em processos industriais, em particular, no desenvolvimento e na melhoria dos processos de medição, automação e controle de qualidade. A radiografia das peças metálicas (gamagrafia industrial) é uma das aplicações industrial mais conhecida dos radioisótopos. Impressão de radiação gama em filme fotográfico. Os fabricantes de válvulas usam a gamagrafia, na área de Controle da Qualidade, para verificar se há defeitos ou rachaduras no corpo das peças.
- Uso na fabricação de materiais plásticos e na esterilização de produtos de utilização única após o processo de embalagem. A Indústria Farmacêutica utiliza fontes radioativas de grande porte para esterilizar seringas, luvas cirúrgicas, gaze e material farmacêutico descartável, em geral. A esterilização destes materiais por métodos convencionais não é viável, pois necessitam de altas temperaturas que deformariam ou danificariam os mesmos.
- Na geração de energia elétrica, produzida nas centrais nucleares em operação no mundo todo, através do processo de fissão nuclear.
- Na Geofísica e Geoquímica na fixação de datas de depósitos de rochas, carvão ou óleo e na datação arqueológica de materiais fósseis.

Portanto a Ciência Nuclear e suas tecnologias têm trazido grandes benefícios para a nossa sociedade, apesar de ainda serem pouco divulgados, conhecidos e compreendidos por ela. Além desses benefícios, também estão associados, ao uso e aplicações tecnológicas da Ciência Nuclear, os riscos que são inerentes ao efeito ionizante das radiações nucleares nos materiais (orgânicos e inorgânicos) e que exige protocolos rígidos para o uso seguro dessa Ciência e das suas tecnologias.

Estes protocolos de segurança, ou de proteção radiológica, são definidos através de normatizações e legislação específica que são estabelecidas pelos órgãos de controle do uso da energia atômica (internacionais e nacionais) para garantir a segurança dos profissionais e do público em geral, evitando-se assim acidentes com grande impacto social, econômico e ambiental.

No Brasil esta competência é da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN – uma autarquia federal, criada pela Lei Nº4.118, de 27 de agosto de 1962, vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), com autonomia administrativa e financeira, dotada de personalidade jurídica de direito público, com sede e foro no Rio de Janeiro - RJ, cujas finalidades institucionais são:

De acordo com as atribuições constantes nas Leis nº 6.189, de 16 de dezembro de 1974 e nº 7.781, de 27 de junho de 1989, e no Anexo I do Decreto nº 5.667, de 10 de janeiro de 2006, tem as seguintes finalidades institucionais: I - colaborar na formulação da Política Nacional de Energia Nuclear; II - executar ações de pesquisa, desenvolvimento, promoção e prestação de serviços na área de tecnologia nuclear e suas aplicações para fins pacíficos conforme disposto na Lei nº 7.781, de 27 de junho de 1989; e III - regular, licenciar, autorizar, controlar e fiscalizar essa utilização. (CNEN, 2017).

Normalmente as pessoas são temerosas e resistentes ao uso da Ciência Nuclear e suas tecnologias, associando-as, comumente, aos acidentes nucleares de grande impacto que historicamente ocorreram no mundo devido a falhas de natureza diversas (operacional, humana, tecnológica e de projeto) e ao uso de natureza militar ou político (armas nucleares, programas atômicos, políticas de Estados). Geralmente estes acidentes, em função dos impactos severos no meio ambiente e na sociedade, tanto imediatos quanto tardios, foram e ainda são divulgados amplamente pela mídia em todo mundo reforçando, assim, para a sociedade apenas os malefícios da Ciência Nuclear e das suas tecnologias.

No entanto, mesmo tendo ocorrido acidentes nucleares de grande impacto socioeconômico e ambiental não se deve remeter apenas aos efeitos deletérios da Ciência Nuclear e suas tecnologias, mas compreender, discutir criticamente e se posicionar politicamente sobre seus riscos, benefícios e usos com segurança individual e coletiva. Nesse sentido é de extrema importância que a sociedade tenha um mínimo de compreensão sobre essa Ciência, suas tecnologias e seus protocolos de segurança levando-se em consideração que seus riscos inerentes estão diretamente relacionados e serão potencializados por vários fatores, tais como: (i) O manuseio inadequado destas tecnologias. (ii) A falta de competência técnica para operá-las. (iii) O não atendimento aos protocolos de segurança. (iv) A desinformação generalizada da sociedade sobre o assunto atrelada as questões socioeconômicas e educacionais.

Um exemplo claro das sérias consequências oriundas da falta de conhecimento da sociedade sobre a Ciência Nuclear e suas tecnologias foi o acidente radiológico, de grandes proporções, que ocorreu na cidade de Goiânia, no estado de Goiás, envolvendo o radioisótopo

césio-137, usado em terapias radiológicas. O aparelho de radioterapia, tendo como fonte de radiação o radioisótopo Cs-137 blindada com chumbo, havia sido abandonado pelos seus guardiões nas dependências de uma clínica desativada, onde os catadores de materiais recicláveis a localizaram e no dia 13 de setembro de 1987, com o objetivo de retirar o chumbo para comercialização, acabaram violando a cápsula contendo o metal radioativo e provocando, inconscientemente, a contaminação radioativa em grandes proporções do ambiente, dos animais e da população de Goiânia, cujos efeitos deletérios ainda hoje se fazem sentir, como citado por Vieira (2013):

O acidente radiológico com césio-137, desencadeado na cidade de Goiânia no ano 1987, não se encerra com o fim da contaminação radiológica e se estende a um processo judicial, médico-científico e narrativo de identificação e reconhecimento de novas vítimas. O drama ocupa um lugar central na dinâmica do evento radiológico ao estender seus limites, modular sua intensidade e atualizá-lo a cada nova narrativa (VIEIRA, 2013, p. 233).

A exposição do corpo humano às radiações ionizantes pode ser originária tanto de fontes externas (fora do corpo) ou por contaminação interna ocasionando efeitos biológicos que podem se revelar posteriormente através de sintomas clínicos. A exposição externa é devido a fontes de radiação dispersas no meio ambiente. A exposição interna é resultante da entrada de material radioativo no corpo humano por inalação, por ingestão ou através de ferimentos, devido à dispersão de material radioativo no ambiente, ou incorporados na cadeia alimentar (TAUHATA; ALMEIDA, 1984, p. 2).

Outro exemplo do uso inadequado e com grandes impactos socioambientais da Ciência Nuclear e suas tecnologias, envolvendo contextos sociopolíticos, éticos e econômicos foi o lançamento, pelos Estados Unidos, durante a Segunda Guerra Mundial, das bombas atômicas nas cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki, cuja população, na época era da ordem de 345 ± 5 mil pessoas e 260 ± 10 mil pessoas, respectivamente:

Era dia 6 de agosto de 1945, às 08h15min de uma segunda-feira, quando a cidade de Hiroshima foi atacada por uma bomba atômica, a essa hora, os estudantes já estavam em salas de aula e os empregados em seus locais de trabalho, a bomba foi denominada “Little boy”, e foi jogada por americanos. Três dias após o ocorrido, outra bomba foi lançada pelos americanos na cidade Nagasaki, a bomba explodiu às 11h02min, e tinha por nome “Fat Man”, essas duas bombas trouxeram grandes desastres para a população e para o meio ambiente (OKUNO, 2015, p.209).

Ainda de acordo com esse autor as principais causas das mortes imediatas ou em curto espaço de tempo após a explosão das bombas em Hiroshima e Nagasaki foram:

(i) Ondas de calor resultaram das mortes de 20% a 30% dos seres humanos num raio de 1,2 km do hipocentro atribuídas a queimaduras fatais. (ii) Ondas de choque com as pessoas que estavam na rua ou mesmo dentro de casa sendo lançadas a vários metros no ar, ferindo-as terrivelmente ou mesmo matando-as. (iii) Raios gama e nêutrons emitidos durante a explosão além da radiação emitida por átomos de césio-137 e de iodo-131, por exemplo, e que contaminaram pessoas interna e externamente em decorrência da chuva negra que começou a cair 20 min após explosão da bomba em Hiroshima e durou até 12h45 contaminando uma área ovalada de 11 km por 19 km (OKUNO, 2015, p.212).

O lançamento das bombas atômicas em Hiroshima e Nagasaki foi uma hecatombe nuclear repleta de destruição, devastação, terror, dor e tristeza que precisa narrado historicamente e conhecido pela humanidade que deve lutar e exigir garantias globais para o uso pacífico da Ciência Nuclear e das suas tecnologias.

Outro caso emblemático que ocorreu no âmbito da Guerra Fria envolveu o assassinato do ex-espião russo Alexander Litvinenko, em 2006, na Inglaterra. O relatório final de uma investigação oficial realizada pelo governo Inglês, publicado pela British Broadcasting Corporation (BBC) em Janeiro de 2016, sinalizou que o assassinato de Litvinenko provavelmente foi de cunho político e autorizado pelo presidente da Rússia Vladimir Putin. O falecimento de Alexander Litvinenko, aos 43 anos, ocorreu em Novembro de 2006 em Londres; três semanas após ter sido envenenado com o radionuclídeo polônio-210. Este radioisótopo possui valor de LD50 inferior a um micrograma por quilograma de massa corporal dos indivíduos testados – DL50 ou LD50, do inglês Lethal Dose, é a dose necessária para uma dada substância ou tipo de radiação matar 50% de uma população em teste (BBC, 2016).

Nesse contexto socioambiental, político, ético, econômico e educacional, o fenômeno da emissão de radiação altamente energética (partículas e radiação eletromagnética) por núcleos atômicos instáveis, que Marie Skłodowska Curie denominou de radioatividade numa publicação em 1899 (CURIE, 1899, p. 42 apud MOREIRA, 1990), se destaca entre as temáticas indicadas nas Orientações Curriculares Oficiais do Ensino Médio brasileiro (BRASIL, 2000) pelo seu potencial para a elaboração de práticas pedagógicas que possibilitem o desenvolvimento de competências diversas nos estudantes, tais como: representação e

comunicação, investigação e compreensão com contextualização sociocultural, política, ética, tecnológica e ambiental.

Sendo assim o estudo da Ciência Nuclear e suas tecnologias deve ser parte integrante dos currículos dos cursos de formação docente em Química e ciências correlatas, envolvendo discussões não só sobre os seus modelos conceituais, mas também sobre questões atuais e importantes para a nossa sociedade, tais como: a geração de energia elétrica; os acidentes nucleares; a sustentabilidade ambiental; o lixo atômico e seu tratamento e armazenamento sustentável; a medicina nuclear; a qualidade e a conservação dos alimentos como um dos meios de evitar desperdícios e a fome; a esterilização de materiais e equipamentos para garantir o seu uso seguro; além da ética, da política, da economia e da história, entre outras. Além disso, os modelos conceituais desta Ciência são de importância fundamental para a compreensão da estrutura atômica e subatômica da matéria, contemplando diversas áreas do conhecimento com maior ênfase na Física e na Química.

Segundo as Orientações Curriculares para o Ensino Médio de Química no Brasil (2000, p.31) o processo de ensino-aprendizado de Química nesse nível educacional deve “possibilitar ao aluno a compreensão tanto dos processos químicos em si quanto da construção de um conhecimento científico em estreita relação com as aplicações tecnológicas e suas implicações ambientais, sociais, políticas e econômicas”.

Além disso, as temáticas relacionadas com a Ciência Nuclear e suas Tecnologias despertam grande curiosidade quando são discutidas pelas comunidades escolares e pela sociedade, sendo esse um fator motivacional relevante para a sua inserção nas discussões pedagógicas durante o processo educacional numa perspectiva de promover uma formação crítica e cidadã. No entanto, essa perspectiva educacional está condicionada a uma formação docente inicial que favoreça uma construção do conhecimento sobre a Ciência Nuclear que seja crítico e integrado ao contexto da Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (CTSA), além da compreensão aprofundada dos seus modelos conceituais.

A importância desse estudo pode ser evidenciada com base nos seguintes pressupostos:

- A mudança do paradigma educacional do Ensino Básico de Ciências no Brasil está diretamente atrelada à qualidade da formação docente inicial.
- As vivências dos futuros profissionais do Ensino Fundamental e Médio de Química, durante a sua formação inicial, serão marcantes para a sua atuação acadêmica posterior numa perspectiva CTSA.

- O entendimento de que a compreensão aprofundada dos modelos conceituais da Química pode se efetivar através de práticas pedagógicas emancipadoras e integradoras do currículo no contexto CTSA.
- O potencial da radioatividade como tema interdisciplinar, contemporâneo e motivacional para uma formação cidadã.

Sendo assim, é importante investigar como os discentes de um curso de formação docente em Química compreendem o fenômeno da radioatividade no contexto CTSA para que se possa refletir e planejar as reformas curriculares e pedagógicas necessárias para essa formação almejada.

Nessa perspectiva a problemática investigada nesse estudo busca responder a seguinte indagação: O processo de ensino-aprendizagem num curso de formação docente em Química tem favorecido o entendimento aprofundado sobre o fenômeno da radioatividade num enfoque CTSA?

O desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso apresenta, no tópico 2 do sumário, os objetivos (gerais e específicos) do estudo seguidos da fundamentação teórica, apresentada no (tópico 3) e que irá embasar a sistematização e a discussão dos resultados obtidos com a metodologia proposta, descrita no tópico 4, seguida da conclusão final sobre a problemática investigada.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Refletir sobre as contribuições da formação docente em Química para o entendimento da radioatividade numa perspectiva CTSA.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar as concepções dos discentes ingressantes e egressos de um curso de formação docente em Química sobre a radioatividade.
- Identificar os fatores, pedagógicos e curriculares, que contribuíram para o nível de evolução conceitual observado ao longo do processo formativo desses discentes.
- Verificar como os discentes pesquisados compreendem a radioatividade numa perspectiva CTSA.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 A curricularização da Ciência Nuclear e suas tecnologias no contexto CTSA

Segundo o que está estabelecido nas Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias – PCN+ – (BRASIL, 2002, p.87) a Ciência Química pode ser um instrumento da formação humana que amplia os horizontes culturais e a autonomia no exercício da cidadania desde que “o conhecimento químico seja promovido como um dos meios de interpretar o mundo e intervir na realidade, se for apresentado como ciência, com seus conceitos, métodos e linguagens próprios, e como construção histórica, relacionada ao desenvolvimento tecnológico e aos muitos aspectos da vida em sociedade”.

Ainda de acordo com estas Orientações Educacionais Complementares a proposta apresentada para o Ensino de Química nos PCNEM:

Se contrapõe à velha ênfase na memorização de informações, nomes, fórmulas e conhecimentos como fragmentos desligados da realidade dos estudantes pretendendo que os mesmos reconheçam e compreendam, de forma integrada e significativa, as transformações químicas que ocorrem nos processos naturais e tecnológicos em diferentes contextos e suas relações com os sistemas produtivo, industrial e agrícola. PCN+ (BRASIL, 2002, p.87)

Neste sentido, busca-se refletir sobre as questões de seleção e organização de conteúdos, entendendo-se que muito além da memorização de informações, nomes, fórmulas e conhecimento se faz necessário um modelo curricular que promova a compreensão dos modelos científicos e suas potencialidades tecnológicas.

Nesta perspectiva a Ciência Nuclear e suas tecnologias é uma temática que deve integrar os currículos no Ensino Médio brasileiro atualmente recomendado nos Parâmetros Curriculares do Ensino Médio (BRASIL, 2002). Portanto, também deve ser parte integrante dos currículos dos cursos de formação docente inicial em Química no Brasil.

No entanto esta área do conhecimento, mesmo integrando os currículos do Ensino Médio e Superior, tem sido abordada de forma superficial, descontextualizada, fragmentada, especificamente no Ensino Médio, sem promover uma maior compreensão sobre seus modelos científicos, suas potencialidades tecnológicas, seus benefícios e riscos inerentes e,

principalmente sobre as normas de segurança e proteção radiológica que são essenciais para o uso seguro da Ciência Nuclear e das suas tecnologias nos diversos contextos da nossa sociedade com essa falta de compreensão impedindo, inclusive, uma tomada de posição cidadã quando demandada.

Esta problemática socioeducacional relacionada com a forma superficial e descontextualizada com que a Ciência Nuclear e suas tecnologias vem sendo abordada no Ensino Médio e Superior no Brasil foi levantada por Sá e Santin Filho:

Não é incomum que o tema (Radioatividade) seja levado para a terceira série, até porque em alguns livros ele aparece junto ao conteúdo de Química Orgânica, quase como fazendo parte de um apêndice ao ensino de Química. Nesta situação, o tema acaba ficando, por vezes, relegado a um rápido tratamento ao final da terceira série, isso se ainda houver tempo disponível de aula para o professor. Essa constatação suscita um debate que deveria fazer parte do meio acadêmico, com a participação de docentes do Ensino Médio: afinal, o tema deve ser abordado pela área de Química ou pela área de Física? É notável que, passados 30 anos da implantação da primeira usina atômica do país, essa questão permaneça indefinida. (SÁ; SANTIN FILHO 2009, p. 159).

Além da superficialidade, ou mesmo a ausência, com que os modelos conceituais da Ciência Nuclear e suas tecnologias são abordados, impedindo uma discussão e posicionamento crítico dos estudantes sobre o tema, esses autores ainda fazem referência às condições laborais dos docentes, que “alheios ao que acontece à sua volta, às vezes por falta de interesse, de tempo ou esgotados em sua jornada de trabalho, os professores não conseguem se atualizar sequer no conteúdo dos currículos didáticos que devem ministrar” (SÁ; SANTIN FILHO 2009, p. 160).

Bez e colaboradores (2013, p. 515) também relacionam a Radioatividade e a Radiação entre os conteúdos curriculares científicos poucos conhecidos e compreendidos ou considerados complicados. Ainda de acordo com estes autores esses conceitos quase não são abordados no Ensino Básico de Química ou de Física e quando isso ocorre é de forma descontextualizada das questões sociopolíticas, éticas, ambientais, médicas.

No Ensino Superior a radioatividade integra os currículos nos cursos de graduação em Ciências Exatas e deve ser abordado com maior grau de aprofundamento nesta formação. Sendo assim o estudante que só tenha visto a radioatividade no Ensino Básico, de forma superficial e descontextualizada, e que não se graduar nos cursos de Ciências Exatas, não poderá ser um bom divulgador desta área do conhecimento.

Portanto, é importante que a Ciência Nuclear e suas Tecnologias sejam contempladas nos currículos do Ensino Médio e do Ensino Superior com abordagem interdisciplinar e no contexto da Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (CTSA), objetivando uma educação integral na e para a cidadania, pois, concordando com Sá e Santin Filho (2009) “contemplar uma visão pautada nas relações Ciência, Tecnologia e Sociedade auxilia o desenvolvimento de um cidadão crítico, atuante, envolvido com a sociedade em que está inserido”. Para esses autores, uma abordagem CTSA no ensino-aprendizado da Ciência Nuclear e suas Tecnologias devem possibilitar:

- O desenvolvimento de criticidade, de espírito de busca, de raciocínio e de atitudes para atividades em grupo.
- A exposição e debates das ideias, a análise sob pontos de vistas divergentes para os fenômenos ocorridos, o respeito às opiniões alheias, que desenvolvam um espírito de cooperação e de respeito entre os estudantes.
- A tomada de decisões diante de fatos sociais relativos a essa ciência e suas Tecnologias temáticas ao tema Radioatividade, propiciando o desenvolvimento de uma postura de respeito às pessoas e ao meio ambiente, abordando questões sociais, políticas e éticas e avaliando a relação dos riscos e benefícios da energia nuclear.

Contudo a Ciência Nuclear e suas Tecnologias precisam ser parte integrante dos currículos do Ensino Básico e Superior, com conteúdo formal e conceitual contemplando o núcleo atômico e suas transformações, os tipos de emissões radioativas, a cinética de desintegração, a transmutação artificial, mas, além disso, com uma abordagem mais detalhada de outras questões relevantes, do ponto de vista científico, social, tecnológico, ambiental e da saúde da população, tais como as que foram sugeridas por Sá e Santin Filho (2009) incluindo as seguintes temáticas como objeto de discussão: (i) A datação com carbono 14; (ii) A esterilização de alimentos e sua desmistificação quanto aos riscos de sobra de ‘resíduos nucleares ou radioativos’ após esse processo; (iii) O diagnóstico e o tratamento de doenças; (iv) O acompanhamento do metabolismo de plantas utilizando traçadores radioativos; (v) O estudo do comportamento de insetos também por meio da utilização de traçadores; (vi) A aplicação na indústria de radiografias de peças metálicas no diagnóstico de rachaduras ou defeitos; (vii) A utilização pelas empresas de aviação nas inspeções de partes metálicas em busca de indícios de ‘fadiga’ destas peças; (viii) A utilização da energia nuclear em indústrias farmacêuticas para esterilizar seringas, luvas cirúrgicas, gaze e material farmacêutico em geral; (ix) A relação custo/benefício da energia nuclear; (x) O uso dos reatores nucleares em pesquisas

científicas; (xi) A importância das usinas nucleares para a economia local; (xii) A comparação dos custos da energia gerada e distribuída por usinas nucleares e por fontes hidrelétricas e termoelétricas; (xiii) A possibilidade do uso de fontes alternativas de energia, tais como a energia solar, eólica e das marés, bem como de seus custos econômicos e ambientais; (xiv) O estado atual da matriz energética brasileira; (xv) Os riscos oferecidos por tal energia, como é o caso das contaminações nas usinas, a contaminação de rios, água, ar e do solo, as possíveis explosões em instalações, doenças causadas por quantidade de radiação em doses maiores que as recomendadas (efeitos biológicos da radiação), acidentes ocorridos, entre outros.

Esses autores ressaltam ainda que tais possibilidades devem ser debatidas “com realismo, sem atitudes alarmistas e sem tampouco procurar minimizar seus riscos”. Enfatiza ainda a importância de se abordar a questão do tratamento e armazenamento dos rejeitos radioativos. Segundo Eles “a relação risco/benefício do uso da energia nuclear deve ser continuamente cotejada com aqueles da produção e transmissão de energia de outras fontes”.

Por isso é importante que haja um direcionamento do movimento CTSA envolvendo a temática sobre a radioatividade em sala de aula, pois são questões que nos cercam diariamente, sejam elas malélicas ou benéficas para sociedade, e que contribuem para um aprendizado significativo quando trabalhadas de maneira correta, pois além de transmitir saberes, proporciona ao estudante uma forma de pensar criticamente sobre tudo que está a sua volta, tendo em vista que a sociedade precisa criar seres que contestem, busquem, e que sejam críticos, pois estamos a toda hora em constantes mudanças e avanços.

No entanto a discussão ampla, contextualizada e cidadã no Ensino Básico da Ciência Nuclear e suas tecnologias, só será eficaz a partir de uma formação docente inicial baseada no conhecimento amplo dos modelos científicos no âmbito do contexto histórico da descoberta da radioatividade e suas potencialidades tecnológicas nos dias atuais, além dos riscos e benefícios associados ao uso destas tecnologias, discutidos nos tópicos seguintes.

3.2 . Contexto histórico da descoberta da radioatividade

A descoberta da radioatividade está diretamente ligada à descoberta e à caracterização dos raios X, pelo físico e engenheiro mecânico alemão Wilhelm Conrad Röntgen, em oito de novembro de 1895, conforme o relato histórico de Martins (1990, p. 27):

Nesse dia, Röntgen observou que uma placa coberta com um material fluorescente (platinocianeto de bário) se tornava luminescente quando num tubo de raios catódicos (tubo de Crookes ou Lenard) era ligado em sua proximidade – embora o tubo estivesse envolto em papel opaco. Dedicando-se imediatamente e de modo muito intenso ao

estudo do fenômeno, Röntgen conseguiu, em menos de dois meses, determinar várias propriedades dos raios X e publicou, em 28 de dezembro de 1895, seu primeiro artigo sobre o assunto (ROENTGEN, 1895; 1896; reproduzido e traduzido em WATSON, 1945; traduzido em PAPP, História de la física, p. 371-6).

Röntgen, em sua primeira publicação sobre o fenômeno, descreveu as propriedades dos novos raios afirmando “não ter observado o desvio desses raios em prismas, lentes de vários materiais e pelo ímã, ao contrário dos raios catódicos, além dos mesmos não estarem sujeitos à polarização, à reflexão regular ou à interferência” (MARTINS, 1990, p.28). Ainda segundo este autor, por haver notado várias semelhanças com a luz (formação de sombras indicando propagação retilínea, ação fotográfica e fluorescência) Röntgen comparou os raios X à radiação ultravioleta, sugerindo posteriormente que fossem ondas longitudinais do éter – de acordo com o texto publicado originalmente como Anexo na obra de Ficção Científica de "Humanos" de André C. S. Masini, a ideia básica de éter, que surgiu a partir da segunda metade do século XVII e ainda vigorava no final do século XIX, é que: “o vácuo, o espaço entre o Sol e os Planetas, não seria um vazio absoluto, mas estaria inteiramente preenchido por uma substância transparente, sem peso, que não causaria atrito aos corpos que viajassem através dela, indetectável por meios químicos ou físicos, e elástica”. Ainda segundo este autor “o éter seria o meio elástico através do qual a luz se propaga sendo admitido universalmente, tanto no vácuo como permeando toda a matéria que existe”.

Na época, a descoberta de Röntgen teve repercussão imediata, tanto no meio acadêmico como na imprensa e na população (JAUNCEY, 1945 apud MARTINS, 1990), em decorrência da aplicação mais famosa destes raios: a observação de ossos dos organismos vivos através da sua radiografia. Essa propriedade dos raios X também havia sido descrita por Röntgen no seu primeiro artigo com todos os jornais e revistas científicas publicando fotografias obtidas por meio dos “raios Roentgen” (assim denominados) nos meses seguintes à sua descoberta.

O físico francês Antoine Henri Becquerel, no final do século XIX, foi responsável pelos estudos que conduziram a descoberta da radioatividade. Becquerel pertencia a uma família ilustre de cientistas. Desenvolveu suas aptidões e realizou suas primeiras pesquisas – quase todas sobre óptica e muitas delas (no período de 1882 a 1887) sobre fosforescência – estudando, entre outros fenômenos, a fosforescência invisível de várias substâncias, em particular, os espectros de fluorescência de sais de urânio. Nesse contexto iniciou os estudos sobre os raios de Röntgen partindo da suposição de que os corpos luminescentes, além de poderem emitir radiações infravermelha e visível, podiam emitir os raios X (MARTINS, 1990 p. 32).

Ainda segundo esse autor Becquerel tinha conhecimento e reproduziu, sem grandes alterações, os trabalhos anteriores de outros cientistas sobre a fosforescência dos materiais, além de investigar este fenômeno numa nova substância: o sulfato duplo de uranila e potássio – $K_2UO_2(SO_4)_2 \cdot 2H_2O$. A partir desses estudos e corroborando com a hipótese de Poincaré postulou que “os raios X eram produzidos, pelas paredes do tubo de vidro, no local onde elas são atingidas pelos raios catódicos e nesse mesmo local, o vidro se torna fluorescente”.

Em dois de Março de 1896 Becquerel apresentou à Academia uma segunda nota que tem sido comumente descrita como sendo a descoberta da radioatividade:

No dia 2 de março, a Academia escuta o resultado de novas investigações que imortalizariam o nome de Becquerel, já que nelas se descreve a existência de um novo fenômeno: a radioatividade. (BECQUEREL, El descubrimiento de la radioactividad, p. 32 apud MARTINS, 1990, p. 38).

No entanto, como destacado por Martins (1990, p. 38), as pesquisas realizadas por Becquerel “não estabeleceram a natureza das radiações emitidas pelos sais de urânio nem a natureza subatômica do processo”. Além disso, este autor ainda argumenta que o trabalho de Becquerel, pautado como muitos outros na hipótese de Poincaré, apresentava resultados de difícil interpretação e que “visto no contexto da época, eram pesquisas que não tiveram o impacto nem a fecundidade da descoberta dos raios X”.

Até o início do ano de 1898 poucos pesquisadores se dedicaram ao estudo dos “raios de Becquerel” ou “raios do urânio” como também eram denominados. Além da dificuldade de obtenção dos compostos luminescentes de urânio e do urânio metálico, Becquerel parecia ter esgotado o assunto e muitos outros fenômenos anunciados na mesma época desviavam a atenção dos estudiosos e apontavam igualmente para aspectos delicados desse tipo de estudo (BADASH, 1965 apud MARTINS, 1990 p. 38).

Mas, nesta mesma época, dois pesquisadores – o químico Gerhard Carl Schmidt, na Alemanha, e a física Marie Sklodowska Curie, na França – trabalhando independentemente tiveram a ideia de pesquisar e identificar outros materiais, diferentes do urânio, que emitissem o mesmo tipo de radiação. Em abril de 1898, ambos publicaram a descoberta de que o tório emitia radiação semelhante ao urânio (MARTINS, 1990, p. 39).

O método de estudo utilizado por estes pesquisadores não foi fotográfico, mas com uma câmara de ionização onde se observava a corrente elétrica produzida no ar, entre duas placas eletrizadas, quando se colocava um material que emitia radiações entre elas. Tratava-se de um método de estudo mais seguro do que aquele que fazia uso de chapas fotográficas e que eram

afetadas por diversos tipos de influências. Os resultados dessas pesquisas permitiram concluir que a radiação emitida pelo tório também era observada em todos os seus compostos que foram examinados na época – de forma semelhante ao que ocorria com o urânio e seus compostos – e produzia os mesmos efeitos fotográficos, porém com um poder de penetração maior que a do urânio (MARTINS, 1990, p. 39).

Segundo Martins (1990, p. 39) G.C. Schmidt observou a refração dos raios do tório – como Becquerel fizera anteriormente – mas sem comprovar a reflexão e a polarização desses raios e Marie Curie investigou vários minerais e substâncias químicas puras, observando, como se previa, que todos os minerais do urânio e do tório emitiam essas radiações. Além disso, um fato estranho chamou a atenção desta pesquisadora que concluiu sobre a existência de um novo elemento, mais ativo que o urânio e o tório, nos minerais ativos de urânio:

Todos os minerais que se mostraram ativos contêm os elementos ativos. Dois minerais de urânio – a pechblenda (óxido de urânio) e a calcolita (fosfato de cobre e uranila) – são muito mais ativos do que o próprio urânio. Esse fato é muito notável e leva a crer que esses minerais podem conter um elemento muito mais ativo do que o próprio urânio. Reproduzi a calcolita pelo processo de Debray com produtos puros; essa calcolita artificial não é mais ativa do que outros sais de urânio. (CURIE, 1898, p. 1102 apud MARTINS, 1990).

Neste mesmo trabalho Marie Curie chamou a atenção para o fato de que o urânio e o tório serem os elementos de maior peso atômico entre os que eram conhecidos na época e especulou sobre a causa deste fenômeno. Diante da enorme duração da radiação, ela considerou absurda a ideia de que toda a energia emitida (“que parecia infinita”) pudesse provir do próprio material e supôs que “a fonte seria externa”, ou seja, que “todo o espaço estaria permeado por uma radiação muito penetrante, imperceptível, que seria absorvida pelos elementos mais pesados e reemitida sob uma forma observável” (MARTINS, 1990, p. 39).

Na época, a descoberta do tório impulsionou as pesquisas sobre os “raios de Becquerel” constatando-se não se tratar de um fenômeno isolado e específico do urânio e seus compostos. Marie Curie, consciente de que se tratava de um fenômeno mais geral, denominou-o de radioatividade:

Os raios urânicos foram frequentemente chamados raios de Becquerel. Pode-se generalizar esse nome, aplicando-o não apenas aos raios urânicos, mas também aos raios tóricos e a todas as radiações semelhantes. Chamarei de radioativas as substâncias que emitem raios de Becquerel. O nome de hiperfosforescência, que foi proposto para o fenômeno, parece-me dar uma falsa ideia de sua natureza. (CURIE, 1899, p. 42 apud MARTINS, 1990, p.40)

Após levantar a hipótese de que a pechblenda podia conter, na sua composição, outro material radioativo ainda desconhecido, Marie Curie se dedicou ao trabalho de tentar isolar esta substância radioativa. Este estudo foi feito através de métodos analíticos com a identificação e caracterização das frações, radioativas e inativas, do mineral pechblenda – uma variedade impura da uraninita, um minério de urânio, que contém na sua composição química dióxido de urânio (UO_2) e proporções variáveis de U_3O_8 devido ao processo de oxidação, óxidos de chumbo e vestígios de hélio, devido à decomposição radioativa, tório e elementos de terras raras.

Essa análise levou a descoberta de um novo material, 400 vezes mais ativo do que o urânio puro, que o casal Curie denominou de polônio:

Cremos, portanto que a substância que retiramos da pechblenda contém um metal ainda não identificado, vizinho ao bismuto por suas propriedades analíticas. Se a existência desse novo metal for confirmada, propomos dar-lhe o nome de polônio, nome do país de origem de um de nós. (CURIE & CURIE, 1898 apud MARTINS, 1990, p. 40)

Num artigo escrito após a descoberta do polônio, Marie Curie faz uma revisão dos conhecimentos sobre o assunto colocando em dúvida a existência da reflexão, da refração e da polarização dos raios de Becquerel e refutando, com base nos estudos de Julius Elster e Hans Geitel, a possibilidade de intensificar a radioatividade pela exposição ao Sol defendendo claramente a ideia de que a radioatividade é uma propriedade atômica (CURIE, 1899 apud MARTINS, 1990, p. 41).

Na última reunião da Academia de Ciências, do ano de 1898, Gustave Bémont e o casal Curie apresentaram um novo trabalho (CURIE, CURIE & BÉMONT, 1898 apud MARTINS, 1990) com evidências da existência de um novo elemento radioativo, quimicamente semelhante ao bário, extraído da pechblenda. Também neste caso, não foi possível separar o novo elemento do metal conhecido; mas obteve-se um material 900 vezes mais ativo do que o urânio. Além disso, a análise espectroscópica revelou uma raia espectral desconhecida. Os autores do artigo nomearam esse novo elemento de “rádio” fazendo referência ao fato ser mais radioativo do que qualquer outro elemento.

Nesta época, apesar dos avanços sobre a natureza dos “raios de Becquerel”, agora denominados de radioatividade, existiam muitas indagações que ainda precisavam de respostas científicas, tais como: (i) Qual a natureza das radiações emitidas por esses materiais e se eram semelhantes aos raios X? (ii) Qual a origem da energia desprendida por esses materiais? (iii) Por que alguns materiais eram radioativos e outros não? Além disso, não havia suspeita de que

a radioatividade acarretava transformações de um elemento químico em outro. “O nome radioatividade existia; mas não se conhecia ainda o complexo fenômeno ao qual damos hoje esse nome” (MARTINS, 1990, p. 41).

Parafrazeando Martins (1990, p. 41) “a história restante é longa e bastante rica”. Essa riqueza pode ser considerada tanto do ponto de vista epistemológico como do ponto de vista metodológico para a formação científica e docente. Segundo este Autor, e concordando com ele, o estudo aprofundado das descobertas científicas, como a dos raios-X e da radioatividade no final do Século XIX, deve fazer parte da educação de todo cientista experimental considerando que a “visão estereotipada do experimentador rebaixa e banaliza o trabalho experimental quando, na verdade, o bom trabalho experimental é extremamente difícil, criativo e instigante, desde que se tenha coragem de enfrentar, no laboratório, fenômenos que se recusam a respeitar as teorias estabelecidas”.

Alguns dos episódios marcantes para o desenvolvimento da Ciência Nuclear e suas tecnologias, que permitiram estabelecer a natureza do fenômeno e a diversidade das radiações emitidas pelos núcleos radioativos, no final do século XIX e início do século XX, estão resumidos, por ordem cronológica, na Tabela 1 apresentada a seguir:

Tabela 1 – A linha do tempo da Ciência Nuclear nos séculos XIX e XX

Ano	Marco científico	Cientistas e Colaboradores
1895	Descoberta dos raios-X como resultado da fluorescência produzida por raios catódicos.	Wilhelm Conrad Röntgen
1896	Descoberta da emissão de radiação penetrante pelo urânio natural – sulfato duplo de uranila e potássio; $K_2 UO_2 (SO_4)_2 \cdot 2H_2O$ – que sensibiliza placas fotográficas, causava cintilação em materiais fluorescentes e descarregava eletroscópios.	Antoine Henri Becquerel
1896 a 1898	<ul style="list-style-type: none"> – Descoberta do tório ($_{90}Th$) tão ativo quanto o urânio; – Introdução do termo radioativo para denotar substâncias que emitiam a “radiação Becquerel”; – Constatação de que a atividade de um material radioativo dependia diretamente da quantidade de urânio e / ou tório presente na amostra; – Descoberta de que a radioatividade da pitchblenda (minério de urânio) era superior àquela devida aos teores de urânio e tório na amostra, sugerindo a 	Marie Curie Pierre Curie

	existência de outros elementos radioativos além desses.	
1897	Descoberta do elétron, a primeira das partículas subatômicas; definição da relação carga/massa do elétron.	Joseph John Thomson
Ano	Marco científico	Cientistas e Colaboradores
1898	Descoberta e caracterização química do polônio (${}_{84}\text{Po}$) e do rádio (${}_{88}\text{Ra}$). Nascimento da radioquímica (Obs. Em 1000 kg de U estão presentes apenas 100 μg de Po e 140 mg de Ra.)	Marie Currie Pierre Currie Gustave Bémont
1898 a 1899	Reconhecimento de que a radiação do urânio continha pelo menos dois tipos de radiação: uma mais penetrante, denominada de radiação α e outra mais facilmente absorvida que foi denominada de radiação β . Os dois tipos de radiação eram desviados por campos magnéticos em direções opostas que indicavam as cargas opostas das radiações α (positiva) e β (negativa).	Ernest Rutherford
1898 a 1902	Descoberta de que essas radiações produzem efeitos químicos e biológicos.	Antoine Henri Becquerel Ernst Bloch Marie Curie
1899	– O casal Curie verificou que alguns raios eram defletidos pelo ímã e outros não. Os que eram defletidos correspondiam à radiação β de Rutherford. O sentido da deflexão mostrou que eram semelhantes aos raios catódicos, ou seja, dotados de carga elétrica negativa. Posteriormente, o casal Curie observou, por medidas elétricas, que essa radiação transportava de fato uma carga negativa. A radiação não defletida foi identificada como radiação α (que, na verdade, é pouco desviada, por sua grande massa/carga).	Marie Currie Pierre Currie
1899 a 1900	Descoberta da emanção do radônio (${}_{86}\text{Rn}$), um gás nobre, a partir de alguns isótopos membros das series de decaimento radioativo de ocorrência natural.	Marie Curie Pierre Curie Friedrich Ernst Dorn Ernest Rutherford
1900	Evidência da deflexão da radiação β de Rutherford por um campo elétrico. Becquerel,	Friedrich Ernst Dorn

Ano	Marco científico	Cientistas e Colaboradores
	nessa fase, fez alguns estudos sobre a deflexão dessas radiações, mas sem sucesso.	
1900	Descoberta de dois tipos de raios que não eram desviados por campos magnéticos: os “raios α ” (pouco penetrantes) e raios muito penetrantes, que foram denominados “raios γ ”.	Paul Ulrich Villard
1903	Observação de que a radiação α podia ser defletida elétrica e magneticamente, verificando então tratar-se de partículas com carga positiva. Só então ficou mais clara a noção a respeito da natureza dessas três radiações.	Ernest Rutherford
1900 a 1903	Descoberta de que os átomos não são imutáveis. Compreensão do decaimento radioativo como sendo uma transformação espontânea de um elemento em outro acompanhado por emissão de partículas. As espécies atômicas relacionadas (nuclídeo pai \rightarrow nuclídeo filho) podem formar séries inteiras de transformações, ou seja, séries de decaimento radioativo. Rutherford e Soddy apresentaram a teoria das transformações radioativas em 5 artigos publicados de novembro de 1902 a maio de 1903. Com esses trabalhos, as linhas gerais da nova visão sobre a radioatividade haviam já sido estabelecidas com muitos aspectos ainda esclarecidos nos anos seguintes.	Ernest Rutherford Frederick Soddy
1904	Comprovação que a profundidade de penetração da chamada radiação- α é muito curta.	William Henry Bragg

Fonte: <http://nagysandor.eu/nuklearis/timeline/>

Através da análise dos fatos históricos sobre o desenvolvimento da Ciência Nuclear ao longo dos séculos XIX e XX, verifica-se que tais descobertas foram e são muito importantes na atualidade, para o desenvolvimento de novas tecnologias nucleares para os diversos fins e com muitos benefícios para a sociedade como um todo, como é o caso, por exemplo, do uso na medicina nuclear, tanto no diagnóstico como em tratamentos precisos e eficazes em muitos dos casos. É importante ressaltar também o desenvolvimento contínuo da Ciência Nuclear no século

XXI e junto com ele os avanços tecnológicos e a contribuição para as demais ciências e para o entendimento da estrutura atômica da matéria.

3.3 O núcleo e suas radiações.

O átomo, como toda matéria do Universo, é uma complexa combinação de partículas ainda menores (elétrons, prótons e nêutrons) que são denominadas de férmions e estão distribuídas em duas regiões com dimensões e densidades bem distintas: o núcleo e a eletrosfera. Os elétrons são leptons, partículas verdadeiramente elementares, leves e sem estrutura interna. Os prótons e nêutrons são hadrons, partículas elementares com estrutura interna formada pela combinação de três quarks: up, up, down (próton) com carga $(\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3})e$; up, down, down (nêutron) com carga $(+\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3})e$.

Segundo Lee, J. D. (1999, p. 462) “um átomo é constituído por um núcleo com carga positiva, rodeado por uma nuvem de um ou mais elétrons, com carga negativa. As cargas se compensam mutuamente e o átomo é eletricamente neutro”.

A Comissão Internacional da Química Pura e Aplicada (IUPAC) define átomo como sendo a menor partícula que ainda caracteriza um elemento químico e que consiste de um núcleo com carga positiva (Z), cujo valor é definido pela quantidade de prótons ($Z=p$) e onde se acha concentrada quase toda a massa do átomo ($> 99.9\%$). Os elétrons são partículas com carga negativa, que estão localizadas externamente ao núcleo e que determinam o tamanho do átomo. As dimensões dos diâmetros do núcleo e do átomo são, respectivamente, da ordem de 10^{-14} m e 10^{-10} m.

Trata-se, portanto, de um sistema com dimensões na faixa de 10^{-5} a 10^{-1} nanômetros, descontínuo, eletricamente neutro, constituído por regiões com quantidades iguais de partículas portadoras de cargas opostas (prótons e elétrons), internas e externas ao núcleo respectivamente, além dos nêutrons (n), partículas destituídas de carga elétrica, com massa equivalente à dos prótons e também localizados no núcleo. As partículas localizadas no núcleo dos átomos (nêutrons, prótons) – denominadas de nucleons – são partículas com estrutura interna, compostas por quarks e denominadas de hádron. O quark, na Física de Partículas, é uma partícula elementar da matéria.

Uma análise comparativa dos valores da carga e de massa das partículas constituintes do átomo pode ser feita a partir dos dados apresentados na Tabela 2 com os valores das cargas elétrica e das massas destas partículas, expressos respectivamente em coulomb (C) e

quilograma (kg). Além disso, mostra a representação simbólica destas partículas subatômicas comumente utilizadas nas equações nucleares.

Tabela 2. Representação e valores de carga e massa das partículas subatômicas

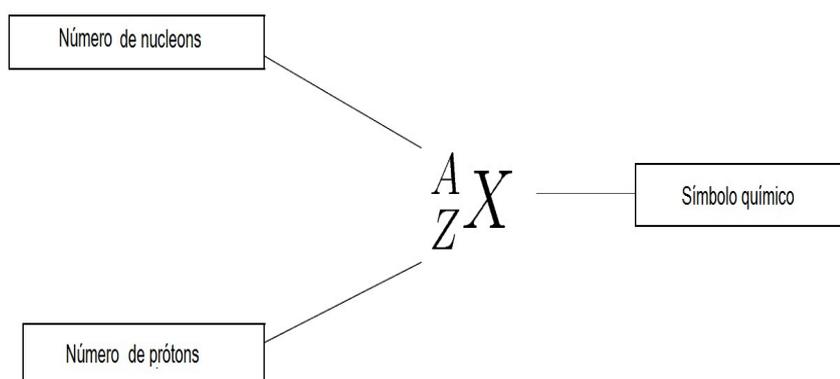
NOME	SÍMBOLO	CARGA (C)	MASSA (kg)	LOCALIZAÇÃO
Próton	${}_1\text{p}^1$	$+1,60210 \times 10^{-19}\text{C}$	$1,67252 \times 10^{-27}$	No núcleo
Nêutron	${}_0\text{n}^1$	-	$1,67482 \times 10^{-27}$	No núcleo
Elétron	${}_1\text{e}^0$	$-1,60210 \times 10^{-19}\text{C}$	$9,1091 \times 10^{-31}$	Externo ao Núcleo

C (Coulomb) é a unidade de carga elétrica no Sistema Internacional de Unidade (SI).

Fonte: https://cbc-wb01x.chemistry.ohio-state.edu/~woodward/ch121/ch2_atoms.htm

Na Ciência Nuclear um dado nuclídeo (do latim nucleus “núcleo”) – espécie atômica caracterizada pelo número de prótons, número de nêutrons e seu estado energético (IUPAC, 2017) é identificado através do símbolo químico do elemento além dos respectivos números: atômico (Z) e de massa (A). O número atômico indica igual a quantidade de prótons ($Z=p$) e o número de massa indica a quantidade de nucleons (prótons e neutrons) no núcleo atômico ($A=p+n$). Estes números acompanham o símbolo do elemento químico, subscrito e sobrescrito, respectivamente, e postos do lado esquerdo do mesmo. Na Figura 2 esta simbologia está sendo utilizada na identificação de um nuclídeo genérico cujo símbolo é X:

Figura 2: Representação simbólica de um nuclídeo X com valores de Z e A

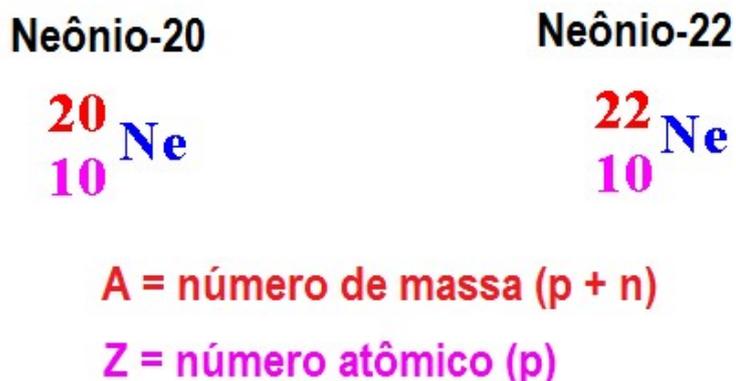


Fonte: Elaboração própria

Todos os nuclídeos de um dado elemento químico tem sempre o mesmo número de prótons, mas podem apresentar quantidades diferentes de nêutrons nos respectivos núcleos. Nuclídeos de um mesmo elemento químico e com quantidades diferentes de nêutrons, e consequentemente de nucleons, são denominados de isótopos.

A Figura 3 identifica dois nuclídeos isótopos do elemento químico neônio (Ne), com número atômico 10 ($Z=10$) e com quantidades de nêutrons iguais a 10 e 12. Sendo assim estes dois isótopos tem números de massa respectivamente iguais a 20 ($10p + 10n$) e 22 ($10p + 12n$), sendo identificados como Ne-20 e Ne-22:

Figura 3: Representação de dois isótopos do Neônio

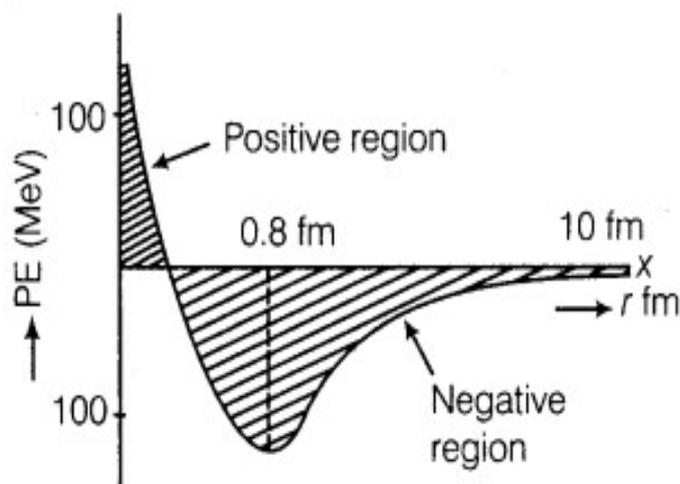


Fonte: Elaboração própria

Portanto, no âmago do núcleo atômico, cujos diâmetros são da ordem de 10^{-15}m (1fm), estão localizados os nucleons, partículas massivas com carga elétrica positiva (prótons) e destituídas de carga (nêutrons). Estes nucleons são mantidos coesos nesta região ínfima por um tipo de força muito intensa e cuja natureza difere das forças elétrica e gravitacional. São as interações ou forças fortes da natureza, de curto alcance (com raio de ação da ordem de 2 a 3 fm) e cujas intensidades diminuem rapidamente à medida que aumenta a distância entre os nucleons. Estas forças são responsáveis pelos fenômenos que ocorrem a curta distância no interior do núcleo atômico e sendo assim definem a estabilidade nuclear. (TAUAHATA E ALMEIDA, 1984, p. 2)

Na Figura 4 pode-se observar o comportamento da variação da energia potencial (PE - Potential Energy, em inglês) de um par de nucleons expressa em milhões de elétron-volts ($1\text{MeV}=10^6\text{ eV}$) em função da distância de separação entre eles (r). Elétron-volt (eV) é uma unidade de medida de energia que, por definição, é a quantidade de energia cinética ganha por um único elétron quando acelerado por uma diferença de potencial elétrico de um volt, no vácuo. 1 eV é equivalente a $1,602\ 177\ 33\ (49) \times 10^{-19}$ joules.

Figura 4 - Variação da Energia Potencial (PE) de um par de nucleons vs. distancia de separação entre eles (r).



Fonte: <http://ask.learnbse.in/t/draw-a-plot-of-potential-energy-between-a-pair-of-nucleons/13007>

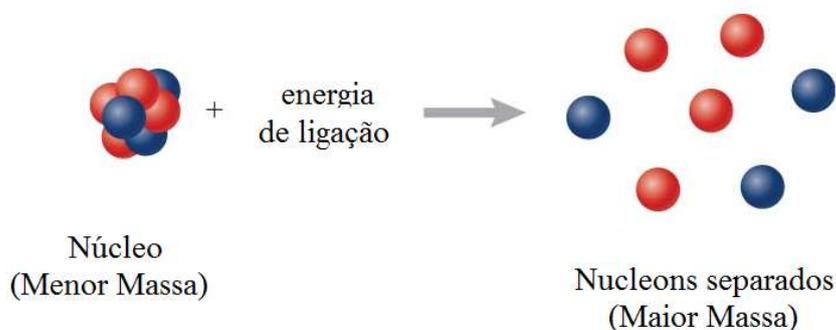
Observa-se um poço de potencial atrativo cujo valor mínimo ocorre para distâncias entre os nucleons (r) da ordem de 0,8 fm. Para distâncias entre os nucleons inferiores a este valor o potencial negativo diminui a zero e torna-se positivo indicando que as forças predominantes entre os nucleons são repulsivas.

Dessa forma o rearranjo ou a desintegração de um núcleo atômico poderá ocorrer com liberação ou com absorção de energia (nuclear) com ordem de grandeza, em geral, 10^6 vezes superior ao das energias das ligações químicas. Pode-se fazer uma analogia supondo um reservatório com os nucleons (prótons e nêutrons) livres, mas que podem se combinar unindo-se de diferentes maneiras produzindo os elementos químicos da tabela periódica. Toda vez que um núcleo atômico for estruturado a partir dos seus nucleons constituintes, irá ocorrer liberação de energia devido às forças fortes atrativas entre eles e a estabilização energética do sistema. A energia que é liberada na formação de um dado núcleo, a partir dos seus componentes individuais, é chamada de energia de ligação do núcleo (BE – do inglês Binding Energy).

A Figura 5 mostra uma representação esquemática da energia equivalente em massa dos nucleons ligados (com menor massa) e livres (com maior massa), observando-se a estabilidade energética do núcleo. A diferença do valor das massas do núcleo e dos nucleons livres é denominada de defeito de massa, sendo equivalente à energia liberada quando um núcleo é estruturado. A equivalência entre massa e energia estabelece que para toda massa haja uma

quantidade equivalente de energia e vice-versa, estando estas quantidades diretamente relacionadas pela equação de Albert Einstein: $E=mc^2$ (c é a velocidade da luz no vácuo).

Figura 5: Defeito de massa entre o núcleo e os nucleons livres



Fonte: Elaboração própria adaptado de <https://socratic.org/questions/what-is-a-mass-defect-and-why-is-it-important>

Portanto, é necessário fornecer energia a um núcleo estável para separá-lo em seus nucleons constituintes. A energia de ligação nuclear é a energia que mantém os nucleons ligados no núcleo. Essa energia é definida pela soma das energias dos nucleons livres (não ligados) menos a energia do núcleo de acordo com a Equação 2:

$$BE = (\Delta m)c^2 = Zm_p c^2 + Nm_n c^2 - Mc^2 \quad (2)$$

Nesta equação $M(Z, N)$ é a massa do nuclídeo com Z prótons e N nêutrons, cujas massas individuais destas partículas estão, respectivamente, representadas por (m_p) e (m_n) ; (c) é a velocidade da luz no vácuo ($c = 2,99\ 792\ 458 \times 10^8$ m/s). Quanto maior a energia de ligação de um núcleo maior a sua estabilidade (TAUHATA; ALMEIDA, 1984, p.07).

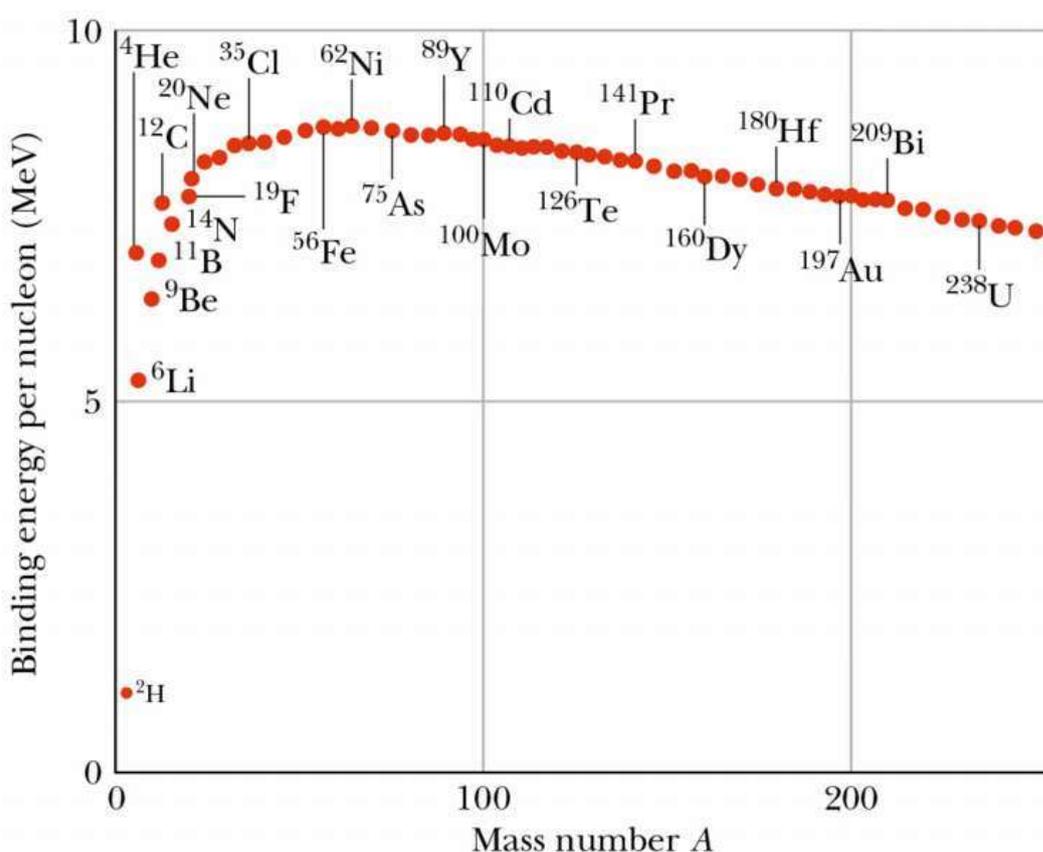
O defeito de massa, portanto, corresponde à diferença entre a soma das massas do total de nêutrons e prótons que formam um dado nuclídeo não ligados e a massa do núcleo formado por estes nucleons, estando relacionado com a energia de ligação nuclear, que mantém unidos os prótons e os nêutrons no núcleo. A energia de um núcleo estável deve ser menor que das partículas que o constitui, caso contrário ele não se formaria (LEE, 1996, p. 466).

Existe uma equivalência entre o defeito de massa e a energia de um dado nuclídeo, de acordo com a equação de Einstein ($\Delta E = \Delta mc^2$). Nesta equação ΔE é a energia liberada na formação do núcleo, c é a velocidade da luz no vácuo e Δm a variação de massa (defeito de

massa) corresponde. O defeito de massa pode ser calculado e convertido na energia de ligação nuclear. Quanto maior for a perda de massa maior será a energia de ligação nuclear e, desse modo, mais estável será o núcleo. (LEE, 1996, p. 466)

Dados empíricos dos valores das energias de ligação nuclear por nucleon, definidos para uma ampla variedade de núclídeos, indicam que estes valores são da ordem de 8 MeV (8×10^6 eV) para os núclídeos com número de massa superior a vinte ($A > 20$), observando-se algumas irregularidades na região dos núclídeos mais leves. A Figura 6 apresenta o gráfico da variação dos valores das energias de ligação por nucleon em função do número de massa dos núclídeos:

Figura 6 - Curva da energia de ligação por nucleon em função do número de massa



Fonte - http://www.physics.ohio-state.edu/~kagan/phy367/Lectures/P367_lec_14.html

Uma análise desta curva, representativa da variação da energia de ligação por nucleon em função do número de massa dos núclídeos, permite verificar que ocorre um aumento brusco do valor desta energia com o aumento da quantidade de nucleons para os núclídeos mais leves, atingindo um valor máximo para os núclídeos: Ni-62, Fe-58 e Fe-56.

Verifica-se ainda uma região de estabilidade energética relativa, ou seja, de saturação do valor da energia de ligação por nucleon, à medida que aumenta a quantidade de nucleons.

Nesta região de saturação, as forças atrativas fortes são balanceadas pelas forças repulsivas entre os prótons no núcleo atômico.

Para os núclídeos mais pesados, com número de massa maior que 100, há uma diminuição gradativa da energia de ligação por nucleon em função do aumento do número de massa. Nesta condição, as forças repulsivas se sobrepõem às forças fortes atrativas no núcleo. Núcleos com quantidade de nucleons superior a 200 são instáveis e sofrem decaimento nuclear espontâneo com liberação de energia.

Tanto a fissão dos núclídeos pesados como a fusão dos núclídeos leves, como observado pelo comportamento da curva apresentada na Figura 6, aumenta o valor da energia de ligação por nucleon. O elemento mais pesado produzido pela fusão dos núclídeos leves é o ferro (Fe). Para os núclídeos pesados o ganho de energia se dá através do processo de fissão (divisão do núcleo em dois ou mais fragmentos, acompanhada pela emissão de radiação gama e de nêutrons). (TAUHATA; ALMEIDA, 1984, p.40).

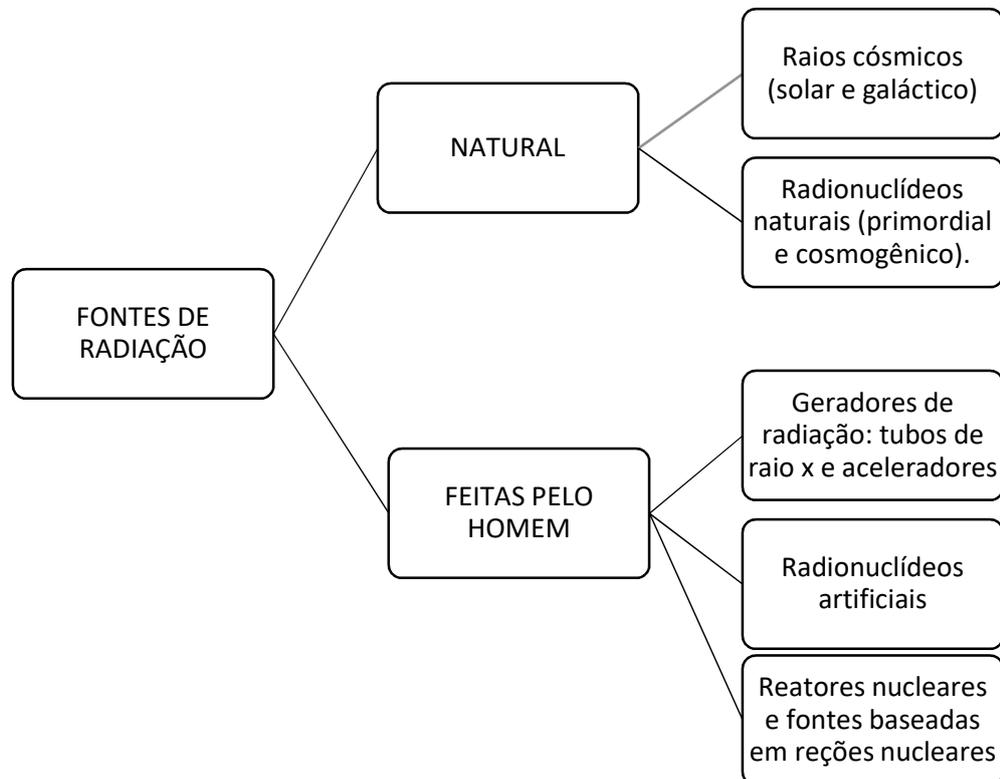
A transformação nuclear espontânea de um núcleo instável (radionuclídeo) resultando na formação de um novo nuclídeo, que pode ser estável ou radioativo, demonstra, portanto, que os átomos não são imutáveis. O decaimento nuclear espontâneo dos radionuclídeos com a emissão de radiação característica, na forma de partículas e/ou radiação eletromagnética, se dá através de mecanismos diferenciados (CEMBER, p. 75).

Quando a transmutação nuclear ocorre em reatores ou em aceleradores de partículas a radioatividade é classificada como sendo artificial. O diagrama apresentado na Figura 7 apresenta os diferentes tipos de fontes de radiação, natural e artificial (feitas pelo homem), cuja classificação depende dos processos ou da fonte de origem.

Entre as fontes naturais de radiação, destacadas no diagrama da Figura 7 estão:

- Os raios cósmicos que podem ser (i) primários (radiações de alta energia que são procedentes do espaço exterior e que penetram na atmosfera terrestre); (ii) solares (partículas geradas perto da superfície do sol por perturbações magnéticas – prótons) e (iii) galácticos (partículas resultantes de explosões de supernovas e outros eventos de alta energia que acontecem fora do sistema solar).

Figura 7 - Fontes natural e artificial de radiações



Fonte: Autoria própria

- Os radionuclídeos presentes na natureza que decaem espontaneamente, emitindo radiação na forma de partículas ou radiação eletromagnética. Estes radionuclídeos podem ser (i) cosmogênicos (formados pela interação dos raios cósmicos com núcleos estáveis na atmosfera terrestre) ou (ii) primordiais (presentes nos diversos sistemas geológicos do nosso Planeta desde a sua formação há cerca de 4.500 milhões de anos).

Ainda de acordo com este diagrama, entre as fontes artificiais estão às tecnologias geradoras de radiação, os reatores nucleares e as fontes baseadas em reações nucleares. Os tubos de raios X e os aceleradores de partículas estão entre as tecnologias mais importantes desenvolvidas pelo homem para a geração de radiação. Ambas utilizam eletricidade como fonte de energia para acelerar partículas e gerar radiação. (TAUHATA E COLABORADORES, 2003, p.43). Os reatores nucleares são instalações que utilizam a reação nuclear de fissão, uma

reação em cadeia e controlada, com liberação de energia nuclear (TAUHATA E COLABORADORES, 2003, p.53). As fontes de reação nuclear são utilizadas para inúmeras aplicações tais como na geração de eletricidade, em usinas que abastecem centenas de cidades em diversos países. A obtenção de energia nuclear se dá através de dois processos físicos: fissão nuclear e fusão nuclear. (MELQUIADES, 2011, p. 5)

De acordo com Tauhata; Almeida (1984, p.16) o decaimento de um radionuclídeo é um fenômeno aleatório, ou seja, para certa quantidade de átomos, em média, uma dada fração irá decair num certo intervalo de tempo. Atualmente são conhecidos cerca de 2750 (dois mil setecentos e cinquenta) radionuclídeos caracterizados por seus respectivos tempos de meia-vida.

Tempo de meia-vida ($T_{1/2}$) de um radionuclídeo é o tempo necessário para que 50% dos átomos presentes numa dada amostra deste material sofra desintegração nuclear. O tempo de meia-vida é uma característica intrínseca ao núcleo de um dado radionuclídeo sendo, assim, independente das suas propriedades físico-químicas, ou seja, a taxa de decaimento (atividade do radionuclídeo) não é afetada por alterações químicas ou físicas na amostra que contém este nuclídeo.

Núcleos atômicos possuem uma estrutura muito regular com propriedades gerais que podem ser previstas pelo tratamento da mecânica quântica para as partículas em movimento num poço de potencial, de forma similar a descrição mecânico-quântica dos elétrons no átomo. No entanto este tratamento não é objeto de discussão neste Trabalho de Conclusão de Curso cujo foco de discussão se baseia nas regras empíricas da estabilidade nuclear discutidas a seguir.

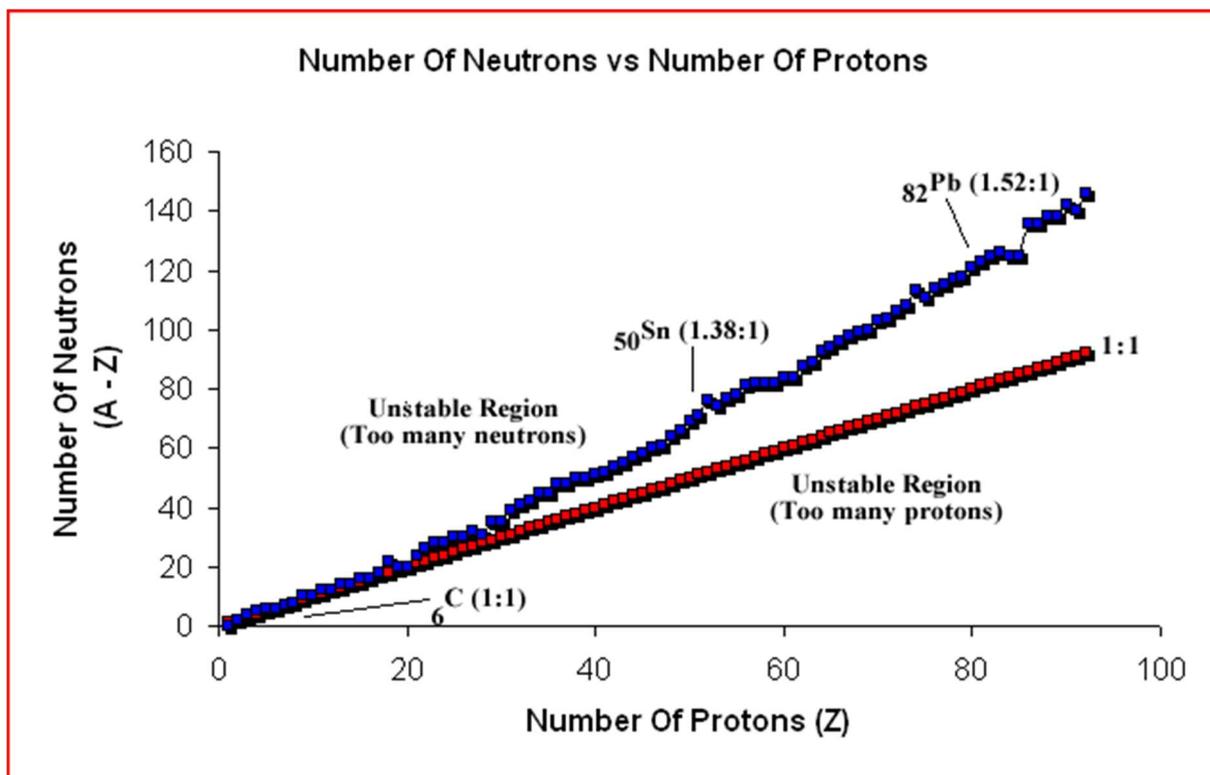
Considerando o que foi discutido nos parágrafos anteriores pode-se concluir que no núcleo atômico ocorrem interações atrativas fortes entre os nucleons, além das interações repulsivas de natureza eletrostática entre os prótons, cuja predominância e, portanto a estabilidade do nuclídeo irá depender da quantidade de nucleons. Dados empíricos demonstram que existe uma correlação entre o aumento da quantidade de prótons (p) e de nêutrons (n) nos núcleos e a sua estabilidade, como pode ser observada pelo comportamento das curvas do gráfico apresentado na Figura 8.

Neste gráfico podem ser observadas duas curvas que indicam a relação entre a quantidade de nêutrons e de prótons ($n:p$) dos nuclídeos estáveis:

- 1) A curva destacada neste gráfico com a cor vermelha que representa todos os nuclídeos estáveis com relação equivalente entre a quantidade de nucleons, ou seja, de prótons e nêutrons ($n:p = 1:1$).

- 2) A curva destacada neste mesmo gráfico com cor azul que representa todos os núclídeos cuja relação entre a quantidade de nucleons não apresenta equivalência unitária, ou seja, ($n:p \neq 1:1$).

Figura 8: Região instável de nêutrons (linha azul) e prótons (linha vermelha)



Fonte: <http://lchr.org/a/36/kr/nucStab.htm>

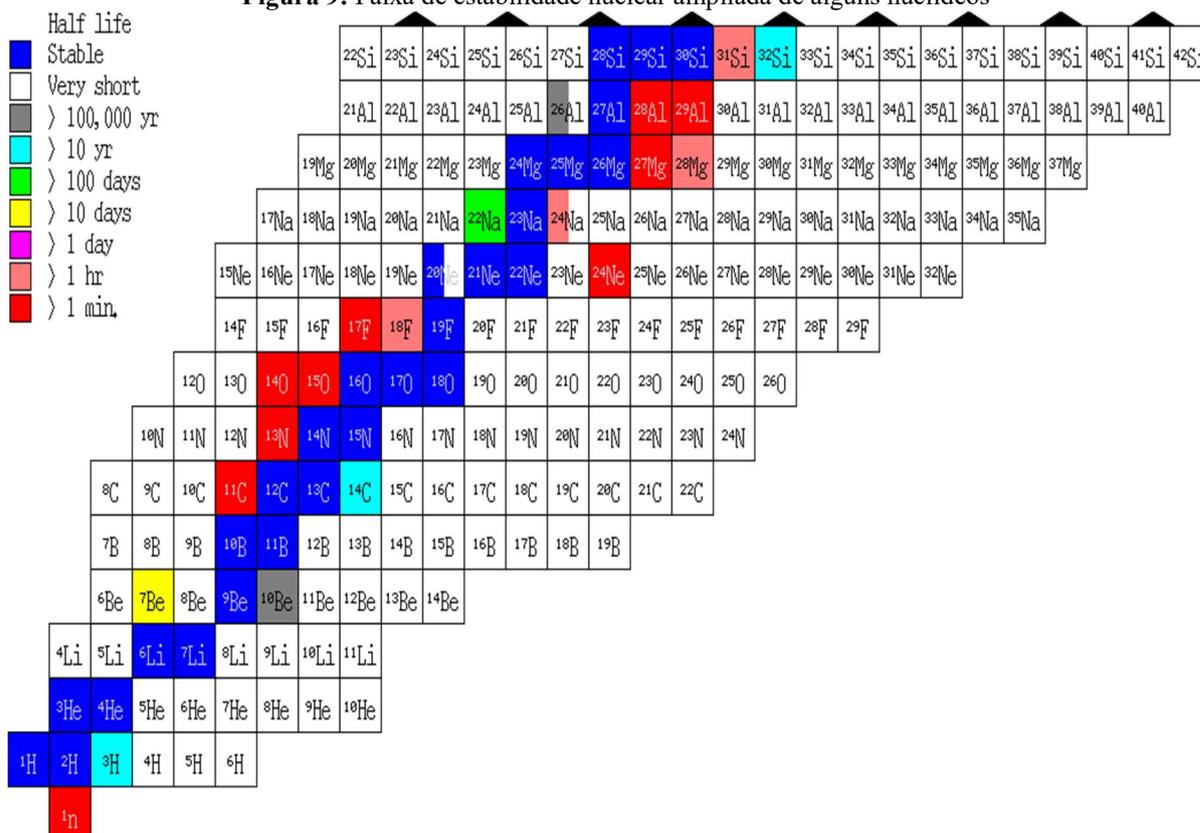
Constata-se que os núclídeos leves, com número atômico menor que vinte ($Z < 20$), a relação entre a quantidade de prótons e de nêutrons no núcleo é aproximadamente equivalente (1:1). Contudo, nos núclídeos com número atômico superior a vinte ($Z > 20$) a quantidade de nêutrons necessária para a estabilidade nuclear é maior que o número de prótons, ou seja, à medida que o número de prótons aumenta, a relação $n:p$ também aumenta, mas sem a equivalência unitária na proporcionalidade. A estabilidade nuclear depende, portanto da relação entre a quantidades de nucleons ($n:p$) sendo governada pelas seguintes regras empíricas que:

- A relação $n:p$ que define a faixa de estabilidade nuclear varia em função do número atômico. Núclídeos leves ($Z < 20$) apresentam relação $n:p$ aproximadamente igual a 1:1, como pode ser comprovado pela superposição das linhas de cor azul e vermelha do gráfico apresentado na Figura 7.

- Para os nuclídeos mais pesados ($Z > 20$) a relação n:p dos nuclídeos que se situam na faixa de estabilidade aumenta de forma não proporcional, como indicado pelo linha de cor azul do gráfico apresentado na Figura 7.
- Todos os nuclídeos com número atômico maior que 83 ($Z > 83$) são radioativos.
- Núcleos que possuem número par de nucleons (prótons e/ou nêutrons) são mais estáveis do que aqueles que têm números ímpares de nucleons.
- Núcleos situados na região de instabilidade e com quantidade maior de nêutrons (acima da linha azul) sofrem decaimento espontâneo com emissão de partículas beta (negatrons).
- Núcleos situados na região de instabilidade e com quantidade maior de prótons (abaixo da linha vermelha) sofrem decaimento espontâneo com emissão de pósitron ou captura de elétron. A emissão de pósitron é favorecida para os núcleos mais leves enquanto que a captura de elétrons é favorecida para os núcleos mais pesados.
- Certos números de nucleons (prótons e nêutrons) estão associados a núcleos muito estáveis. Esses números, denominados de números mágicos, são: 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126. Este comportamento assemelha-se a quantidade de elétrons das configurações eletrônicas estáveis: 2, 10, 18, 36, 54, 86. Pode-se exemplificar a regra dos números mágicos considerando-se a estabilidade energética (energia de ligação por nucleon) do nuclídeo Níquel-62, bastante elevada. A quantidade de prótons e de nêutrons deste nuclídeo é respectivamente igual a 28 (que é um número mágico e par) e 34 (que apesar de não ser um número mágico é um número par).

A Figura 9 apresenta a região (ou faixa) de estabilidade nuclear, definida pela relação n:p, compilada de uma tabela de nuclídeos e apresentada de forma ampliada. Esta região está codificada com a cor azul nesta tabela de nuclídeos que também usa códigos de cores variadas para identificar a faixa do tempo de meia-vida dos radionuclídeos situados fora desta região de estabilidade e cujos valores variam numa ampla faixa de ordem de grandeza, desde microssegundos (μs) até bilhões de anos. Nesta tabela de nuclídeos todos os isótopos de um dado elemento químico, estáveis e instáveis, estão posicionados numa mesma linha horizontal da Tabela.

Figura 9: Faixa de estabilidade nuclear ampliada de alguns nuclídeos



Fonte: <http://rarfaxp.riken.go.jp/~gibelin/Nuchart/>

Uma análise desta Tabela de Nuclídeos permite identificar todos os isótopos de um dado elemento químico e aqueles que se situam na faixa de estabilidade nuclear, identificada pela cor azul. Verifica-se uma grande quantidade de radionuclídeos do que de nuclídeos estáveis. Por exemplo, dos quinze isótopos do elemento químico carbono ($Z=6$) apenas dois se situam na faixa de estabilidade nuclear: o C-12 e C-13, cujas abundâncias relativas na natureza de cada um destes isótopos são respectivamente iguais a 98.93% e 1.07%. A relação (n:p) destes isótopos naturais e estáveis do carbono é, respectivamente igual a (6:6) para o C-12 e (7:6) para o C-13. Isótopos do carbono com valores desta relação entre a quantidade de nucleons inferiores a 6:6 ou superiores a 7:6 são radioisótopos.

A relação (n:p) dos isótopos estáveis de um dado elemento químico irão definir a sua faixa de estabilidade nuclear, através dos limites (máximo e mínimo) desta relação. Isótopos cujos valores da relação n:p estão abaixo do limite inferior ou acima do limite superior da zona de estabilidade são radioisótopos, cujos mecanismos de desintegração e os tipos de emissões radioativas são dependentes da relação (n:p).

No caso elemento químico carbono, os radioisótopos que tem relação (n:p) < (6:6) são deficientes de nêutrons e decaem por modos de desintegração cujos mecanismos envolvem a

emissão de próton (p) ou de pósitron (${}_{+1}\beta$) enquanto que os isótopos com relação $(n:p) > (7:6)$ tem excesso de nêutrons e decaem através de mecanismos de desintegração com a emissão de partículas beta (${}_{-1}\beta$) ou de nêutrons (${}_{0n}$).

As transmutações nucleares, da mesma forma que as transformações químicas, são representadas através de equações nucleares observando-se a conservação da carga e da massa entre reagentes e produtos. Para uma compreensão desses modos de decaimento nuclear e da sua representação na linguagem da Ciência Nuclear, é necessário conhecer as características das emissões radioativas tais como: defeito de massa, a carga elétrica, a energia equivalente ao defeito de massa e o tempo de meia vida, além da representação simbólica, apresentadas na Tabela 3:

Tabela 3 – Características das emissões radioativas

Tipo	Defeito de massa (u)	Carga	Energia equivalente ao defeito de massa (MeV)	Tempo de meia vida (s)
Alfa (${}_{2}\alpha^4$)	4,002777	+2e	3727,16	Estável
Beta (${}_{-1}\beta^0$)	0,000549	-1e	0,510976	Estável
Pósitron (${}_{+1}\beta^0$)	0,000549	+1e	0,510976	Estável
Próton (${}_{+1}p^1$)	1,007593	+1e	938,213	Estável
Nêutron (${}_{0n}^1$)	1,008982	0	939,507	1,013 x10 ³
Gama (γ)	-	0	0	Estável
Neutrino (${}_{0\nu}^0$)	≈ 0	0	0	Estável

1e = 1.6021766208(98) × 10⁻¹⁹ coulombs (carga elementar)

As massas são relativas (mp/mn ≈ 1; me/mp = 1/1840 = 0,000549)

Fonte – Tauhata; Almeida (1984, p.21)

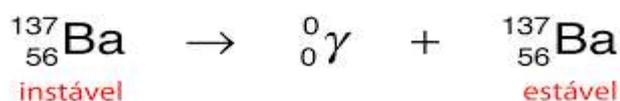
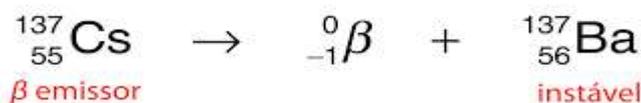
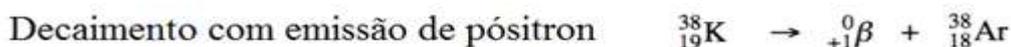
Como observado a partir dos dados apresentados na Tabela 3, a maioria das partículas e das radiações emitidas nas transformações nucleares são estáveis portadoras de carga elétrica e massivas (alfa, beta, pósitron, próton) ou destituídas de carga elétrica (nêutron). O neutrino e o antineutrino são partículas destituídas de carga e com massa desprezível. A radiação gama (raios gama) é radiação eletromagnética de alta energia emitida nos processos de decaimento radioativo.

A partícula alfa (${}_{2}\alpha^4$) é um núcleo do átomo de hélio emitido nos processos radioativos. A partícula beta, também denominada de negatron (${}_{-1}\beta^0$) e o pósitron (${}_{+1}\beta^0$) são respectivamente elétron e a antipartícula do elétron emitidos nos processos radioativos. O pósitron, portanto, tem massa igual a do elétron, mas carga com valor igual e sinal contrário a do elétron, ou seja,

(+1). Tanto o próton como o nêutron são nucleons com massas equivalentes, mas apenas o próton é portador de carga elétrica positiva (+1) enquanto que o nêutron é destituído de carga. Neutrino (ν) é partícula neutra (sem carga) e com massa de repouso muito baixa, responsável pela distribuição contínua de energia entre as partículas na desintegração beta.

Na Figura 10 estão apresentados alguns exemplos de transmutações nucleares, por diferentes modos de decaimento, através das respectivas equações nucleares, com a carga subscrita do lado esquerdo e a massa sobrescrita do lado esquerdo do símbolo do nuclídeo e das partículas:

Figura 10: Representação das transmutações nucleares através de equações



Fonte: Autoria Própria

Observa-se em todos eles a indicação do número de massa (sobrescrito ao lado esquerdo do símbolo) e da carga do núcleo (subscrito ao lado esquerdo do símbolo) havendo a conservação da carga e da quantidade de nucleons (número de massa) nos reagentes e produtos nas transformações nucleares. Apesar de a radioatividade ser abordada nos livros textos do Ensino Médio e Superior fazendo-se referência apenas aos modos de decaimento com emissão de partículas alfa, beta e radiação gama, que são características das séries radioativas naturais, existe outros modos de decaimento nuclear que estão apresentados e descritos resumidamente na Tabela 4:

Tabela 4 - Modos de decaimento nuclear e emissões radioativas características.

MODO DE DECAIMENTO	PARTÍCULAS EMITIDAS	NUCLÍDEO FILHO
Com emissão de nucleons:		
Decaimento alfa	Uma partícula alfa ($A=4; Z=2$)	$(A-4; Z-2)$
Emissão de próton	Um próton ($A=1; Z=1$)	$(A-1; Z-1)$
Emissão de nêutron	Um nêutron ($A=1; Z=0$)	$(A-1; Z)$
Emissão dupla de próton	Dois prótons (simultaneamente)	$(A-2; Z-2)$
Fissão espontânea	O núcleo se desintegra em dois ou mais núcleos menores e outras partículas.	–
Diferentes modos de decaimento beta:		
Decaimento β^-	Emissão de um elétron ($A=0; Z=-1$) e de um antineutrino ($A=0; Z=0$)	$(A; Z+1)$
Decaimento β^+	Emissão de pósitron ($A=0; Z=1$) e de um neutrino ($A=0; Z=0$)	$(A; Z-1)$
Captura de Elétron	O núcleo pai captura um elétron orbital e emite um neutrino. O núcleo filho fica em estado excitado instável	$(A; Z-1)$
Decaimento duplo β^-	Emissão de dois elétrons e dois antineutrinos	$(A; Z+2)$
Dupla Captura de Elétron	O núcleo absorve dois elétrons orbitais e emite dois neutrinos – o núcleo filho é deixado em estado excitado e instável.	$(A; Z-2)$
Captura de Elétron com emissão de pósitron	O núcleo absorve um elétron orbital e emite um pósitron e dois neutrinos	$(A; Z-2)$
Dupla Emissão de pósitron	O núcleo emite dois pósitrons e dois neutrinos.	$(A; Z-2)$
Transições entre estados de um mesmo núcleo		
Transição Isomérica	Núcleos excitados emitem fótons de alta energia (radiação gama)	$(A; Z)$
Conversão interna	Núcleos excitados transferem energia para um elétron orbital com a emissão subsequente do elétron orbital do átomo.	$(A; Z)$

Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Radioactive_decay

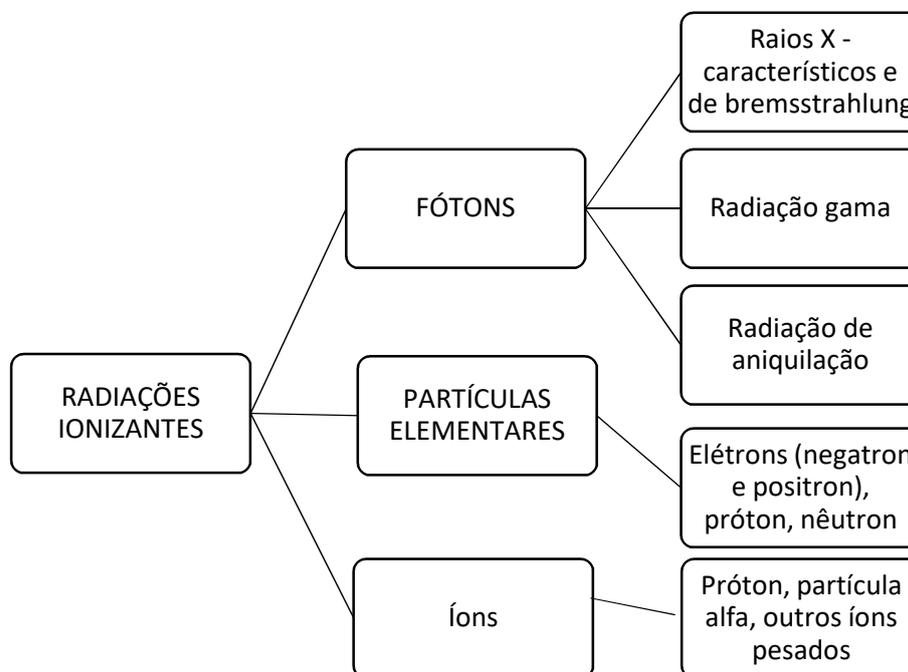
Juntamente com os modos de decaimento nuclear também estão descritos na Tabela 4: o tipo de emissão radioativa (partículas emitidas e suas características relativas a carga e ao número de massa) além dos valores dos números atômicos ($Z=p$) e de massa ($A=p+n$) dos

nuclídeos “Pai” (aquele que se transmuta, ou seja, que sofre decaimento radioativo) e do nuclídeo “Filho” (aquele que é formado no decaimento radioativo).

Dois destes modos de decaimento radioativo envolvem transições entre estados energéticos do núcleo que são: (i) Transições entre estados de um mesmo núcleo (transição isomérica) com os núcleos excitados se estabilizando pela emissão de fótons de frequência e energia elevada (radiação gama); (ii) Conversão interna, em que núcleos excitados transferem parte da sua energia para um elétron orbital com a sua emissão subsequente do átomo. As transições entre estados de um mesmo núcleo, podem estar associadas aos demais modos de decaimento radioativo com o nuclídeo Filho, em estado excitado, emitindo radiação eletromagnética de alta frequência e energia, com capacidade de ionizar átomos e moléculas nos materiais com os quais interage, sejam orgânicos ou inorgânicos.

De acordo com Tauhata e colaboradores (2003, p.16) “as radiações ionizantes são produzidas por processos de ajustes que ocorrem no núcleo ou nas camadas eletrônicas dos átomos, ou pela interação de outras radiações ou partículas com o núcleo ou com o átomo”. As categorias de radiações ionizantes estão apresentadas na Figura 11:

Figura 11: Categorias de radiações ionizantes



Fonte: Autoria própria

A radiação ionizante é a radiação que possui energia suficiente para ionizar átomos e moléculas e entre as categorias deste tipo de radiação estão: as partículas elementares e os íons,

que são diretamente ionizantes, além dos fótons ou radiação eletromagnética, que são indiretamente ionizantes. Entre as radiações indiretamente ionizante figuram os fótons de alta frequência (raios X, radiação gama).

Os raios gama são produzidos nos processos de decaimento nuclear ou são emitidos como radiação secundária no processo de interação das partículas constituintes dos raios cósmicos com a atmosfera ou em processos astronômicos onde são produzidos elétrons de alta energia. Os raios X são originados pelo rearranjo dos estados eletrônicos dos átomos (raios X característicos) ou pelo frenamento de partículas carregadas pela ação de um campo coulombiano forte (raios X de bremsstrahlung).

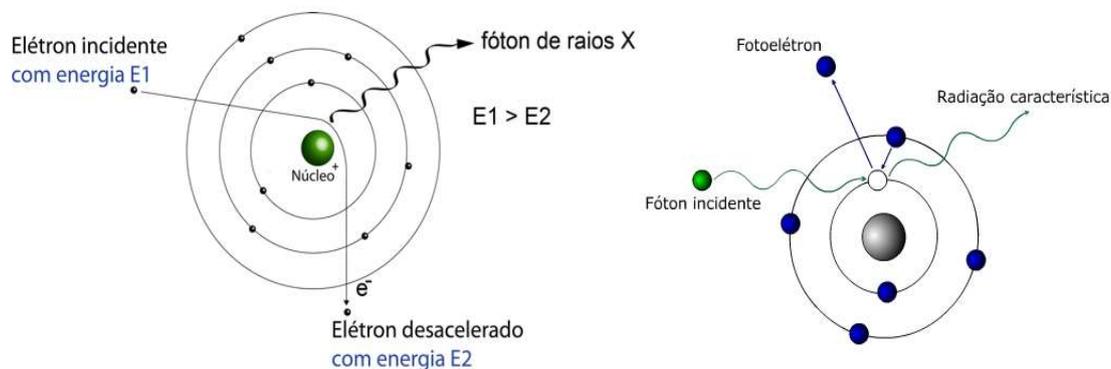
Os raios X característicos são emitidos pelos elementos com número atômico elevado quando os elétrons mais externos sofrem transição ocupando uma vacância nos níveis mais internos de um dado elemento químico que havia sido produzida como resultado da interação com elétrons energéticos o suficiente para deixar esta vacância nestes níveis. Esse processo produz um espectro de emissão de raios X com valores discretos de frequência (ou de linhas) que depende do elemento químico, daí o nome de espectro característico (TAUHATA E COLABORADORES, 2003, p.30). A órbita de onde o elétron será expulso depende da energia do elétron incidente e dos níveis de energia do átomo. Neste processo, a radiação X será emitida, com frequência dada pela equação: $E = h\nu = hc/\lambda$.

Nessa equação ν é a frequência de propagação da onda, λ o comprimento de onda, h é a constante de Planck ($6,62607 \times 10^{-34}$ J.s) e c é a velocidade da luz no vácuo. De acordo com esta equação, a energia da radiação eletromagnética – ondas eletromagnéticas e a energia associada (IUPAC, 2017) – é diretamente proporcional a frequência de propagação (ciclos por segundo) e inversamente proporcional ao comprimento de onda (distância entre dois picos consecutivos da onda).

Os raios X de bremsstrahlung são liberados pelo espalhamento de partículas carregadas (elétrons) quando na proximidade de um campo Coulombiano forte. O espectro dos raios X de bremsstrahlung é contínuo com a radiação tornando-se mais intenso e desloca-se para frequências maiores quando a energia dos elétrons incidentes é aumentada. (TAUHATA E COLABORADORES, 2003, p. 30).

Uma representação esquemática da formação dos raios X característicos e bremsstrahlung está apresentada na Figura 12:

Figura 12: Raios X de bremsstrahlung e característicos produzido pela interação de partícula carregada (elétron) com a eletrosfera do átomo.



Fonte: Adaptado de <http://www.oocities.org/tomografiademadeira/interacao.html>

Na Tabela 5 estão apresentados os dados relacionados com a frequência, o comprimento de onda e a energia características destes dois tipos de radiação eletromagnética:

Tabela 5: Frequência, Comprimento de onda e Energia das radiações Raios-X e gama.

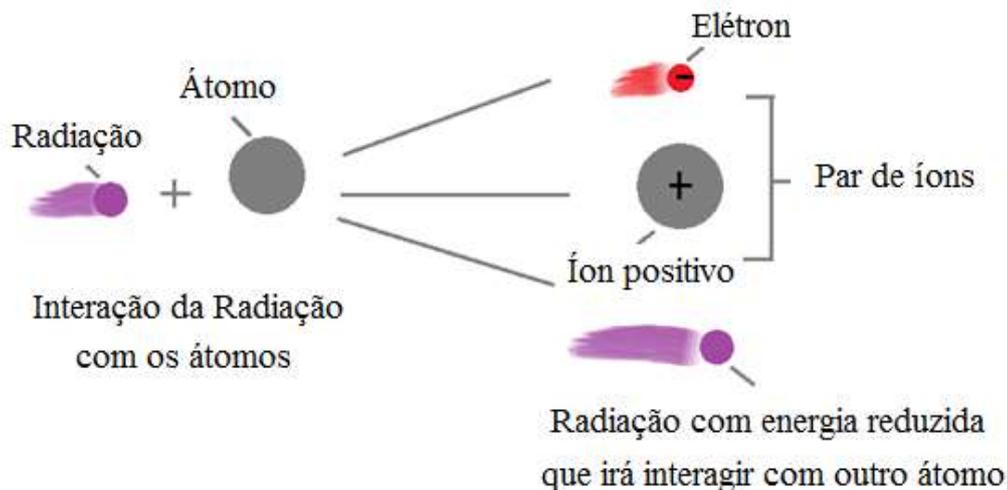
Radiação	Frequência (Hz)	Comprimento de	Energia (eV)
		onda (m)	
Raios X	$3 \times 10^{16} - 3 \times 10^{19}$	$10^{-11} - 10^{-8}$	$10^2 - 10^5$
Radiação gama	3×10^{20}	10^{-12}	$1,24 \times 10^6$

Fonte: <http://www.euronuclear.org/info/encyclopedia/g/gammaradiation.htm>

Portanto as radiações nucleares, na forma de partículas ou de ondas eletromagnéticas, são radiações energéticas e, portanto, ionizantes, ou seja, possuem valores de energia suficiente para ionizar os materiais com os quais interagem, sejam orgânicos ou inorgânicos, provocando efeitos físicos, químicos, biológicos, estruturais nestes materiais.

Neste processo, denominado de ionização, forma-se um par de íons com cargas opostas. O íon positivo é o átomo ou a molécula que perdeu um elétron (foi ionizado) enquanto o elétron ejetado é o íon negativo. (OKUNO, 2013, p. 186). A radiação (na forma de partícula ou fótons) através de eventos sucessivos vai depositando energia ao longo da sua trajetória. A Figura 13 mostra uma representação esquemática da interação da radiação com a ionização átomos dos materiais e a formação do par de iônico:

Figura 13: Representação da interação da radiação com a matéria



Fonte: Autoria própria

3.4 Efeitos biológicos das radiações ionizantes.

No Brasil, o órgão responsável por controlar o uso do material e de fontes de radiação ionizante é a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) – uma autarquia federal vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), criada em 1956 e estruturada pela Lei 4.118, de 27 de agosto de 1962, para desenvolver a política nacional de energia nuclear. A CNEN sendo um órgão superior de planejamento, orientação, supervisão e fiscalização, estabelece normas e regulamentos em radioproteção e é responsável por regular, licenciar e fiscalizar a produção e o uso da energia nuclear no Brasil.

O principal objetivo da proteção radiológica é proteger o homem contra os detrimientos – efeitos deletérios – das radiações ionizantes, de fontes naturais ou artificiais que foram modificadas tecnologicamente. De acordo com (Tauhata e Almeida, 1984, p. 02) “é necessário conhecer os tipos de efeitos nocivos induzidos pela radiação nos seres vivos, e estimar com suficiente exatidão o relacionamento entre a dose de radiação e a incidência desses efeitos”. A dose absorvida é uma medida da energia depositada em um meio por uma radiação ionizante. É igual a energia depositada por unidade de massa. No Sistema Internacional de Unidades (SI) a unidade de dose absorvida é 1 joule por quilograma ou gray (1 Gy = 1J/kg).

No entanto, deve ter-se em conta que esta magnitude não é um bom indicador dos efeitos biológicos da radiação sobre os seres vivos cujos efeitos dependem do tipo de radiação e no

material orgânico. Por exemplo, um Gy de radiação alfa pode ser mais nocivo que um Gy de fótons. Sendo assim devem aplicar-se uma série de fatores para que os efeitos biológicos sejam refletidos, obtendo-se a dose equivalente. A dose equivalente é uma grandeza física que descreve o efeito relativo dos distintos tipos de radiações ionizantes sobre os tecidos vivos. Sua unidade de medida no sistema SI é o sievert (Sv).

Portanto a dose equivalente (H_T) é um valor com maior significado biológico que a dose absorvida. É calculada utilizando a dose absorvida que é depositada no tecido do corpo ou no órgão T, multiplicada pelo fator de ponderação da radiação W_T que depende do tipo e da energia da radiação R.

$$H_T = W_R D_{T,R}$$

- $D_{T,R}$ é a dose absorvida no tecido ou órgão T pela radiação tipo R;
- W_R é o fator de peso da radiação tipo R.

A Comissão Nacional de Energia Nuclear, através da Norma CNEN – NN – 3.01 de 13/03/2014 (“Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica”) estabelece as diretrizes de proteção radiológica em todo o território nacional e, dentre outras diretrizes, define que as exposições ocupacionais normais de cada indivíduo decorrentes de todas as práticas e a de indivíduos do público não devem exceder os limites anuais estabelecidos pela norma para indivíduos do público e ocupacionalmente expostos que são:

Tabela 6 – Limites de Doses Anuais (Efetiva e Equivalente) [a].

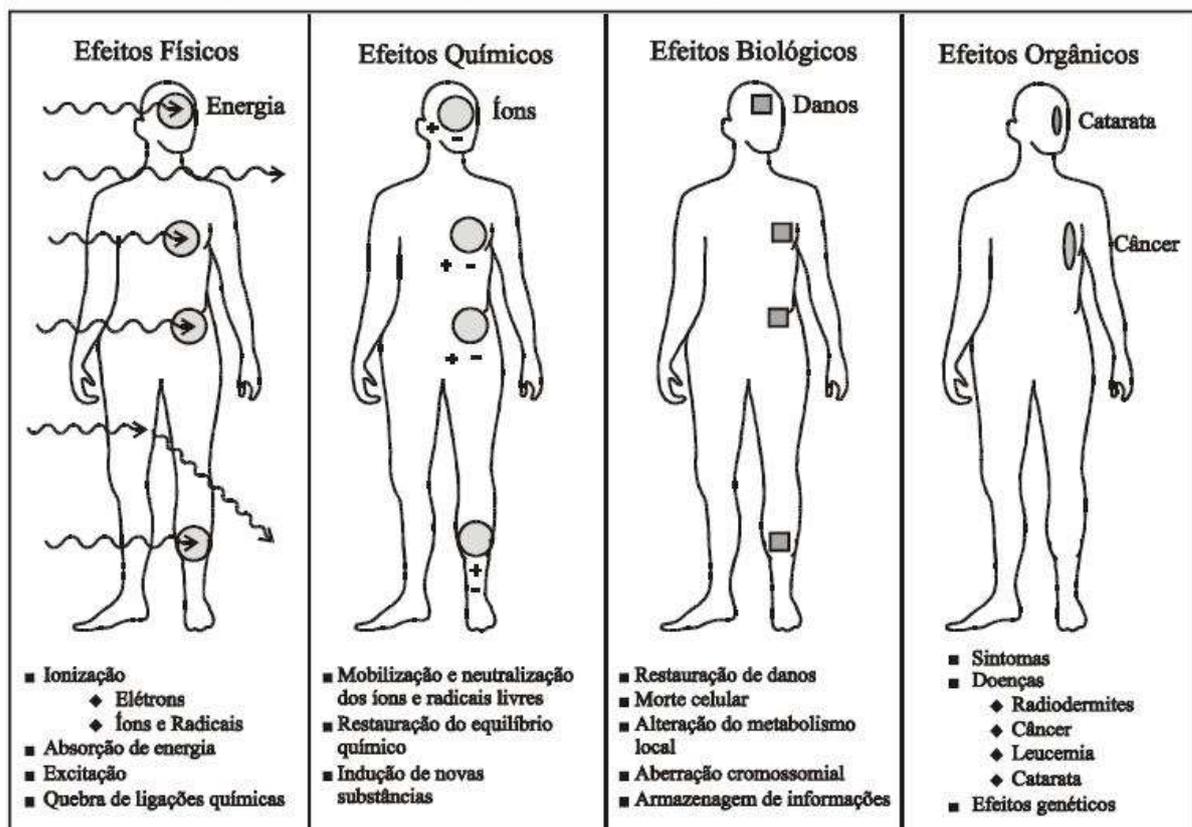
Grandeza	Órgão	Indivíduo ocupacionalmente exposto	Indivíduo do público
Dose efetiva	Corpo Inteiro	20 mSv [b] 20 mSv[b]	1 mSv [c]
Dose equivalente	Cristalino	(Alterado pela Resolução CNEN 114/2011)	15 mSv
	Pele [d]	500 mSv	50 mSv
	Mãos e pés	500 mSv	—

Fonte: Norma CNEN – NN – 3.01 de 13/03/2014. “Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica” Limites de Dose Anuais [a].

- Para fins de controle administrativo efetuado pela CNEN, o termo dose anual deve ser considerado como dose no ano calendário, isto é, no período decorrente de janeiro a dezembro de cada ano [a].
- Média ponderada em cinco anos consecutivos, desde que não exceda 50 mSv em qualquer ano [b].
- Em circunstâncias especiais, a CNEN poderá autorizar um valor de dose efetiva de até 5 mSv em um ano, desde que a dose efetiva média em um período de 5 anos consecutivos, não exceda a 1 mSv por ano [c].
- Valor médio em 1 cm² de área, na região mais irradiada [d].

Os efeitos biológicos decorrentes da radiação ionizante nos seres humanos são revelados através de sintomas clínicos, cuja natureza, severidade e o tempo em que se manifestam são dependentes da quantidade de radiação e da taxa em que ela é absorvida. As células quando expostas à radiação sofrem ação de fenômenos físicos, químicos e biológicos, através da imagem podemos notar passo a passo de todos os efeitos que acontecem ao longo da exposição à radiação ionizante.

Figura 14: Efeitos biológicos decorrentes da exposição às radiações ionizantes



Fonte: <https://br.pinterest.com/pin/54184001744845745/?lp=true>

De acordo com Kerr (2010) “a radiação causa a ionização dos átomos que afeta moléculas, que poderão afetar células, que podem afetar tecidos, que poderão afetar órgãos, que podem afetar todo o corpo.” A mesma autora enfatiza que é comum avaliar os efeitos da radiação em termos de efeitos sobre células, mas acontece que a radiação interage somente com os átomos que estão presentes nas células, o que se denomina ionização. Então, os danos biológicos começam em consequência das interações ionizantes com os átomos formadores das células.

Através da imagem apresentada na Figura 14 é possível ter uma ideia da sequência de eventos e efeitos específicos, com os efeitos químicos sucedendo os físicos que provocam rupturas de ligações entre os átomos formando radicais livres num intervalo curto de tempo. Os efeitos biológicos da radiação são uma consequência dos efeitos anteriores (químico e físico). Tais efeitos causam alterações específicas nas células, alteração no metabolismo local, diminuindo assim a atividade da substância viva. Os fenômenos biológicos da radiação são uma consequência dos fenômenos físicos e químicos com alteração das funções específicas das células e são responsáveis pela diminuição da atividade da substância viva. (FICEL, [201-?])

Além destas alterações funcionais os efeitos biológicos caracterizam-se também pelas variações morfológicas – alterações em certas funções essenciais ou a morte imediata da célula, isto é, dano na estrutura celular. É assim que as funções metabólicas podem ser modificadas ao ponto da célula perder sua capacidade de efetuar as sínteses necessárias à sua sobrevivência. (FICEL, [201-?])

De acordo com Dogival e colaboradores [ca. 2010] efeitos decorrentes da exposição da radiação ionizante podem ser classificados em:

- Determinístico: são os efeitos para os quais existe um limiar de dose necessária para a sua ocorrência e cuja gravidade aumenta com a dose. Ex.: A morte de um número elevado de células pode levar ao colapso do tecido, deixando este de exercer suas funções no organismo.
- Estocástico: efeitos que ocorrem sem um limiar de dose e cuja gravidade é independente da dose. Ex.: Uma única célula modificada pode se reproduzir, gerando um clone de células modificadas, o que pode eventualmente resultar em um câncer (efeito somático).
- Somático: efeitos que afetam somente a pessoa irradiada e pode ser classificados em duas categorias: efeito em curto prazo (agudos) e efeitos em longo prazo (tardios).

- Genético (Hereditário): Os efeitos genéticos surgem quando os órgãos reprodutores (células germinativas masculinas e femininas, espermatozoides e óvulos) são expostos às radiações ionizantes, afetando as futuras gerações do indivíduo irradiado.

4 METODOLOGIA

4.1 A tipologia do estudo

Trata-se de uma pesquisa de campo, explicativa e de análise qualitativa desenvolvida com o intuito de proporcionar uma visão geral reflexiva sobre as contribuições da formação docente em Química para o entendimento da radioatividade numa perspectiva CTSA. Gil (2007) afirma que a pesquisa explicativa preocupa-se em identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Isto é, este tipo de pesquisa explica o porquê das coisas através dos resultados obtidos.

De acordo com Minayo (2001, p. 22) a pesquisa qualitativa caracteriza-se pela busca de respostas para questões muito particulares e que se preocupa com um nível de realidade que não pode ser quantificado, ou seja: “trabalha com o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações, dos processos e dos fenômenos que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis”.

Nesse trabalho optou-se pelo estudo de caso como método de pesquisa, pois de acordo com (Yin, 2001, p.33) “um estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro do seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos”.

4.2 Delimitação da população e da amostra

O universo da pesquisa foi constituído por uma comunidade acadêmica de um curso de formação docente em Química numa Universidade pública no Agreste de Pernambuco. A amostra foi representativa do total dos discentes ingressantes e regularmente matriculados no referido curso durante o primeiro semestre letivo do ano de 2017 e dos discentes egressos do referido Curso nesse mesmo semestre letivo contabilizando um total de 43 (quarenta e três) discentes sendo: 31 (trinta e um) ingressantes e 11 (onze) egressos no referido curso nesse semestre letivo. Do total de 43 discentes (ingressantes e egressos) que participaram da pesquisa a maioria (57%) concluiu o Ensino Médio em escolas da Rede Pública de Ensino e uma minoria em escolas da Rede Particular de Ensino (35%) e em Escolas Técnicas (8%), com ano de conclusão variando no período de 2005 a 2016.

Os critérios de inclusão dos discentes, ingressantes e egressos, foram: (i) Aceitação voluntária de participação no referido estudo. (ii) A frequência regular nas atividades acadêmicas durante o período letivo especificado e, além disso, para os discentes egressos (iii) Estar regularmente matriculados no décimo período do Curso, cujo currículo é integralizado com um total de 10 (dez) períodos.

Os critérios de exclusão dos discentes, ingressantes e egressos, incluem não estar frequentando regularmente as atividades acadêmicas do Curso durante esse período letivo e para os egressos não estarem regularmente matriculados no nono período do referido curso.

Nesse estudo foram respeitadas as Diretrizes e Normas Regulamentadoras das Pesquisas envolvendo Seres Humanos (Resolução 196/96-CNS/MS, 1996) através da garantia do sigilo quanto aos dados confidenciais da comunidade acadêmica envolvida na pesquisa, bem como o direito à liberdade de se recusar a participar ou de retirar o seu consentimento, em qualquer fase da pesquisa, sem penalização e sem prejuízo ao seu vínculo institucional.

4.3 A coleta de dados

O instrumento de coleta de dados usado nessa pesquisa para analisar quais as concepções dos discentes ingressantes e egressos sobre a Ciência nuclear e suas aplicações, riscos e benefícios foi o questionário estruturado com questões abertas, pois como mencionado por Chaer e colaboradores (2011, p. 262), “perguntas abertas são aquelas que permitem liberdade ilimitada de respostas ao informante”.

Ou seja, a pessoa investigada que fornecerá as respostas para o estudo não se limitará em comentar apenas as perguntas postuladas pelo investigador, mas sim, ao que achar importante e necessário para respondê-las, concordando com os argumentos de Chaer e colaboradores (2011, p. 262):

Por se tratar de um questionário aberto espera-se que os discentes falem tudo que vier à mente, ainda de acordo com Chaer, Diniz e Ribeiro (2011, p. 262) as respostas abertas têm suas vantagens, pois por não haver influência das respostas pré-estabelecidas pelo pesquisador, o aluno informante escreverá tudo que vier à mente.

Desta forma, optou-se, neste estudo, pelo tipo de questionário aberto sendo elaborados e usados como instrumentos para a coleta dos dados dois tipos de questionários – referidos como: Questionário (A) e Questionário (B) – aplicados em contextos e temporalidades específicas ao processo de formação docente do referido curso, cujas características e finalidades estão descritas a seguir:

- I. Questionário (A) foi aplicado apenas aos discentes ingressantes. Esse instrumento de coleta de dados foi estruturado com quatro perguntas abertas sobre a Ciência Nuclear e suas Tecnologias, cuja finalidade era conhecer o nível de conhecimento dos discentes sobre o assunto após concluírem o Ensino Médio.
- II. Questionário (B) que foi aplicado apenas aos discentes egressos do Curso. Esse instrumento de coleta de dados foi elaborado com as quatro perguntas contidas no questionário (A) além de mais quatro perguntas adicionais e cujas respostas exigiam um conhecimento mais aprofundado sobre a Ciência Nuclear e suas tecnologias, conforme a estrutura curricular proposta no Projeto Pedagógico do referido Curso, com essa temática sendo abordada no componente curricular Química Geral II, ofertado no terceiro período do Curso.

Os modelos dos questionários (A) e (B) podem ser visualizados nos apêndices I e II dessa monografia.

4.4 Análise dos dados

A análise dos dados levantados neste estudo foi feita de forma sistemática, com base nas respostas dos questionários e levando-se em consideração a correlação dos dados com o referencial teórico e a problemática investigada. Os resultados obtidos foram discutidos numa abordagem qualitativa com a transcrição textual das respostas dos sujeitos da pesquisa e com dados mais precisos sistematizados na forma de gráficos e tabelas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A reflexão sobre as contribuições da formação docente em Química para o entendimento da radioatividade numa perspectiva CTSA serão feitas com base nos dados do estudo, levantados sobre o conhecimento dos discentes, ingressantes e egressos, de um curso de formação docente em Química de uma Universidade Pública no Agreste de Pernambuco que aceitaram voluntariamente participar da pesquisa, de acordo com os critérios de inclusão e exclusão previamente definidos.

Os dados do estudo possibilitaram analisar a problemática de investigação proposta e focada na seguinte questão: “O processo de ensino-aprendizagem num curso de formação docente em Química tem favorecido o entendimento aprofundado sobre o fenômeno da radioatividade num enfoque CTSA”?

A sistematização e a análise comparativa dos dados coletados bem como as discussões elaboradas neste trabalho estão apresentadas nos parágrafos seguintes, de forma estruturada a partir dos seus objetivos específicos, com o propósito de responder a pergunta problema da pesquisa.

5.1 CONCEPÇÕES DOS DISCENTES, INGRESSANTES E EGRESSOS, DE UM CURSO DE FORMAÇÃO DOCENTE EM QUÍMICA SOBRE A RADIOATIVIDADE.

A partir dos dados deste estudo e tendo como base o percentual de discentes pertencentes às categorias ingressantes e egressos no primeiro semestre de 2017, foi possível observar a divergência entre o número de vagas ofertadas no SISU pelo referido Curso – um total de quarenta vagas – com o número das vagas que serão disponibilizadas no processo de integralização, após cinco anos. Este total de vagas foi considerado como sendo equivalente a onze, correspondentes ao número de discentes egressos participantes deste estudo o que sinaliza para um índice elevado de retenção neste Curso, da ordem de 70%, com relação ao tempo normal de integralização de cinco anos.

Inicialmente foi solicitado aos discentes, ingressantes e egressos do Curso, participantes deste estudo se os mesmos tiveram contato com o estudo da radioatividade ao longo do seu processo formativo, no Ensino Médio (ingressantes) e no Ensino Superior (egressos). A Tabela 8 apresenta a distribuição porcentual dos discentes, nas categorias ingressantes e egressos, que afirmaram ter (ou não) vivenciado este estudo durante o seu processo formativo no referido curso de formação docente em Química:

Tabela 7: Porcentual dos discentes ingressos e egressos participantes da pesquisa que vivenciaram o conceito de radioatividade na sua formação.

RESPOSTA	INGRESSANTES	EGRESSOS
Sim	89%	50%
Não	11%	50%

Fonte: Autoria própria

Os dados apresentados na Tabela 7 indicam que a maioria (89%) dos discentes ingressantes neste curso de formação docente em Química no primeiro semestre de 2017 afirmou ter vivenciado esta temática ao longo de sua formação no Ensino Médio enquanto que o porcentual dos discentes egressos deste Curso, e que ingressaram na Universidade no primeiro semestre de 2012, foi bem inferior (50%).

Estes dados sinalizam para avanços na abordagem desta temática no Ensino Médio atual, mas bem inferior ao que deveria ter sido verificado para a categoria dos discentes egressos deste Curso considerando que mesmo que estes discentes não tivessem vivenciado esta temática no Ensino Médio esta vivência deveria ter ocorrido durante a sua formação na graduação e, mais importante ainda, por tratar-se de um curso de formação docente em Química.

Esta importância leva em consideração que a Ciência Nuclear e suas tecnologias é uma temática que deve integrar os currículos no Ensino Médio brasileiro como recomendado nos Parâmetros Curriculares do Ensino Médio brasileiro (BRASIL, 2002) e, sendo assim, deve também ser parte integrante dos currículos dos cursos de formação docente inicial em Química no Brasil.

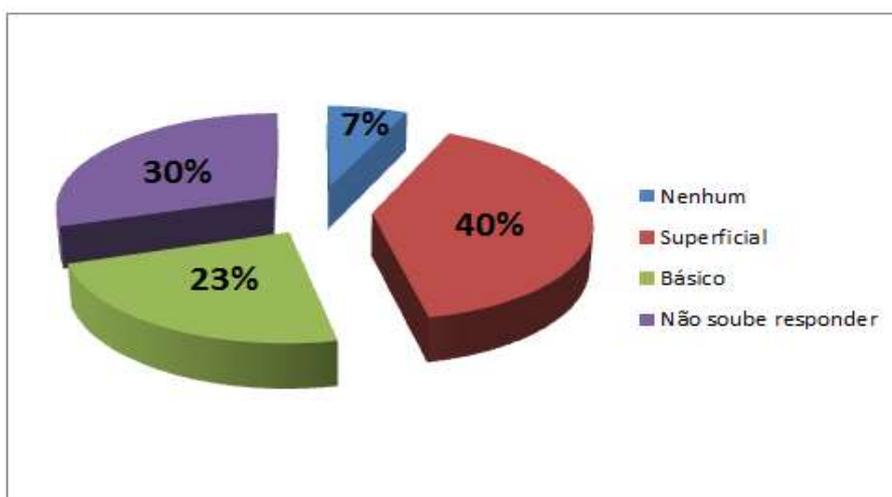
De acordo com o Projeto Pedagógico do referido Curso (PPC) o estudo da Química Nuclear está programado para o terceiro período do curso como um tópico da ementa do Componente Curricular “Química Geral II” (QUIM0076) com carga horária semestral de sessenta horas e transcrita a seguir:

Cinética química. Modelos atômicos e teoria atômica. Tabela periódica e propriedades periódicas. Ligação Química (iônica, covalente e metálica). Interações intermoleculares. Sólidos e Líquidos. Química Nuclear (QUIM0076).

Também foi solicitado aos discentes, ingressantes e egressos, participantes deste estudo que descrevessem o seu grau de aprofundamento conceitual sobre a radioatividade decorrente do processo formativo, no Ensino Médio e no Ensino Superior.

A Figura 15 apresenta um gráfico com as categorias das respostas que foram elaboradas pelos discentes ingressantes no curso de formação docente em Química no primeiro semestre de 2017 com a avaliação do seu nível de aprofundamento conceitual sobre radioatividade decorrente da sua formação no Ensino Médio:

Figura 15: Gráfico com o nível de aprofundamento sobre radioatividade adquiridos pelos discentes ingressantes num curso de formação docente durante a formação no Ensino Médio.



Fonte: Autoria própria

Os dados da pesquisa indicam que uma minoria (7%) dos discentes ingressantes neste curso de formação docente em Química no primeiro semestre de 2017 afirmou não ter nenhum conhecimento sobre radioatividade, enquanto que a maioria (63%) avaliou este nível de conhecimento como sendo superficial (40%) ou básico (23%). No entanto, a soma destes dois percentuais pode ser maior considerando que uma quantidade significativa destes discentes (30%) não conseguiu pontuar com clareza esta avaliação limitando-se à:

- i. Indicar indiretamente já ter tido contato com o tema no Ensino Médio – *“Sim vi na escola durante o Ensino Médio”*; *“Não sei bem descrever, mas estudei radioatividade no médio, Chernobyl, α , β , gama”*; *“ α , β , γ ”*.
- ii. Dar explicações conceituais sobre o fenômeno e a sua origem, algumas equivocadas, relacionando-o as emissões alfa, beta e gama além das aplicações tecnológicas e impactos socioambientais, verificando-se a ênfase maior nos malefícios da Ciência Nuclear – *“A radioatividade está relacionada com as partículas α , β , gama que tem grau de penetração diferente”*. *“Vem do elemento rádio e é prejudicial à saúde”*. *“A*

radiação é energia, que pode ser prejudicial tendo também que utiliza-la benéficamente, no tratamento de doenças. Milhões de pessoas já foram mortas por radiação de elementos químicos”. “Só foi trabalhado os riscos que produtos radioativos podem causar a longo e curto prazo”. “Só sei que radioatividade é aquele negócio que vira raios-X, que faz exames”. Estes dados corroboram com a opinião de Bez e colaboradores (2003, p. 5 15) ao afirmar que a radioatividade é um conteúdo pouco conhecido e complicado e abordado de maneira descontextualizada, remetendo-se apenas aos malefícios da Ciência Nuclear e suas tecnologias.

A maior ou menor compreensão dos discentes ingressantes sobre radioatividade, adquirida durante a formação no Ensino Médio, pode ser corroborada ou refutada através da análise dos conceitos que foram elaborados por estes sujeitos da pesquisa para o fenômeno da radioatividade, cuja reprodução textual está apresentada na Tabela 8:

Tabela 8: Entendimentos dos discentes ingressantes de um curso de formação docente em Química sobre radioatividade por nível de conhecimento.

Grupo 1: NÍVEL DE CONHECIMENTO SUPERFICIAL OU AUSENTE.	Grupo 2: NÍVEL DE CONHECIMENTO MÉDIO OU BÁSICO.
– Fenômeno associado com a emissão de partículas α β e γ ” (3);	– É o fenômeno da decomposição dos números atômicos dos elementos químicos (1).
– Emissão de ondas α β e γ por alguma partícula e os meios de estudo de fissão e fusão nuclear (1).	– Ato ou efeito de um objeto e/ou elementos apresentar índices de reação ao meio e seres, em relação ao seu estado físico e biológico. (1).
– Diz respeito à liberação de partículas que podem ser prejudiciais à saúde, de determinados compostos obtidos através de reações químicas, por exemplo, o plutônio.	– Fissão de partículas α (1).
– Fenômeno químico que dependendo do seu grau e exposição é capaz de fazer alterações genéticas entre outras.	– Fenômeno de ondas envolvendo radiações (1).
– Acho que é a capacidade de algumas partículas se desprenderem de seus átomos e seguir vagando com muita energia e velocidade até atingir algum corpo (1).	– Produção de energia a partir de moléculas de raios alfa, beta e gama.
– Nível de radiação que um objeto emite em nosso corpo como quando utilizamos a radiação da quimioterapia para matar células cancerígenas. (1).	– Não sabe conceituar (2).
– Liberação de energia do átomo na busca de estabilidade (1).	
– Não sabe conceituar (5).	

Fonte: Autoria própria

De acordo com estes conceitos, apresentados na Tabela 9, os discentes ingressantes foram incluídos em duas categorias, que foram definidas neste estudo com base no nível de aprofundamento conceitual definidos pelos mesmos nas respostas elaboradas nos respectivos questionários da pesquisa que são: (i) GRUPO 1 que incluiu todos os discentes ingressantes

que definiram o seu nível de conhecimento sobre radioatividade como sendo superficial ou ausente. (ii) GRUPO 2 que incluiu todos os discentes que definiram o seu nível de conhecimento sobre radioatividade com sendo médio ou básico. O número entre parênteses é indicativo da frequência de cada tipologia das respostas elaboradas por estes sujeitos da pesquisa.

A análise da construção textual elaborada pelos discentes ingressantes participantes da pesquisa pode identificar uma quantidade maior de discentes do Grupo 1 (35,6%) que não se acharam capazes de elaborar um conceito para radioatividade com relação aos discentes do Grupo 2 (28,6%), no entanto os equívocos conceituais dos discentes do Grupo 2, que avaliaram o seu nível de entendimento sobre radioatividade como médio ou básico, chama a atenção com relação aos seguintes aspectos:

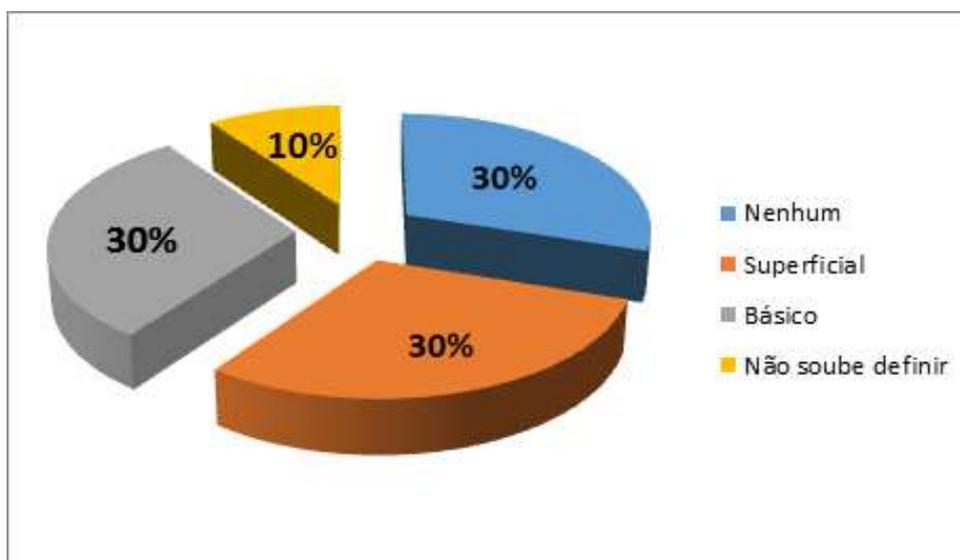
- 1) Faz associação do fenômeno com a decomposição do número atômico (quantidade de prótons no núcleo dos radioisótopos), mas não a transmutação nuclear, desconsiderando as transições entre estados energéticos de um mesmo nuclídeo com emissão de radiação gama (radiação eletromagnética de alta frequência e energia).
- 2) Elaboração de modelos conceituais equivocados, e até incompreensíveis, tanto do ponto de vista da Ciência Nuclear quanto da Ciência Química fazendo referência à:
 - (i) *“Objeto e/ou elementos apresentar índices de reação ao meio e seres, em relação ao seu estado físico e biológico”*. (ii) *“Fissão das partículas alfa”* e não a fissão dos núcleos atômicos com a emissão destas partículas além de outros tipos de radiações nucleares que não foram citados. (iii) *“Fenômeno de ondas envolvendo radiações”* confundindo o processo de transmutação com emissões radioativas que podem ser partículas energéticas e de natureza diversa e/ou radiação eletromagnéticas de alta frequência. (iv) *“Produção de energia a partir de moléculas de raios alfa, beta e gama”* se referindo as partículas alfa (núcleos de átomos de hélio) e beta (elétrons) como moléculas. (v) *“Reações químicas de determinados compostos citando o plutônio como exemplo”*. A energia nuclear não é da mesma natureza da energia química e o plutônio é um elemento produzido artificialmente em reatores nucleares.

Em contrapartida os discentes ingressantes que se autoanalisaram neste estudo com um nível de conhecimento sobre radioatividade mais elementar (Nenhum ou Superficial) apresentaram modelos conceituais mais bem elaborados apesar do menor nível de aprofundamento considerando os seguintes aspectos destas elaborações textuais com:

- 1) Associação do fenômeno da radioatividade a emissão de partículas: alfa, beta e gama, sempre presentes nas séries radioativas naturais além de fazer referência à energia cinética destas partículas e perda desta energia, até ser parada, ao interagir com os materiais: *“capacidade de algumas partículas se desprenderem de seus átomos e seguir vagando com muita energia e velocidade até atingir algum corpo”*.
- 2) Referência aos efeitos deletérios das radiações nucleares nos organismos vivos, que dependendo do grau de exposição podem ser imediatos ou tardios (genéticos) e suas aplicações na radioterapia e que foi confundida com a quimioterapia, apesar de algum tratamento radioterapêutico envolver a ingestão de radioisótopos: *“Fenômeno químico que dependendo do seu grau e exposição é capaz de fazer alterações genéticas entre outras”*. *“Nível de radiação que um objeto emite em nosso corpo como quando utilizamos a radiação da quimioterapia para matar células cancerígenas”*.
- 3) Citação da estabilidade energética alcançada por um dado nuclídeo no processo de decaimento radioativo com emissão de energia na forma de partículas e/ou radiação eletromagnética: *“Liberação de energia do átomo na busca de estabilidade”*. Observa-se, a partir da análise desta resposta, que o discente faz alusão ao conceito de radioatividade, de forma sucinta, mas coerente com o referencial teórico que descreve este fenômeno como sendo a transformação nuclear espontânea de um núcleo instável resultando na formação de um novo nuclídeo, que pode ser estável ou radioativo, com a emissão de radiação característica, na forma de partículas e/ou radiação eletromagnética (CEMBER, p. 75).

A Figura 16 apresenta um gráfico com categorias das respostas elaboradas pelos discentes egressos do curso de formação docente em Química no primeiro semestre de 2017 com a avaliação dos mesmos sobre o seu nível de aprofundamento conceitual sobre radioatividade decorrente da sua formação no Ensino Médio e na graduação nas mesmas categorias definidas para os discentes ingressantes: (i) GRUPO 1 que incluiu todos os discentes egressos que definiram o seu nível de conhecimento sobre radioatividade como sendo superficial ou ausente. (ii) GRUPO 2 que incluiu todos os discentes egressos que definiram o seu nível de conhecimento sobre radioatividade com sendo médio ou básico.

Figura 16: Gráfico com o nível de aprofundamento sobre radioatividade avaliado pelos discentes egressos participantes da pesquisa adquiridos durante a formação no Ensino Médio/ou Superior.



Fonte: Autoria própria

Verifica-se que a maioria (60%) dos discentes egressos do curso de formação docente em Química avaliou o seu nível de aprofundamento sobre radioatividade como sendo superficial (30%) ou nenhum (30%) com apenas uma minoria destes discentes (30%) considerando o seu grau de aprofundamento no nível básico além de um percentual pequeno dos discentes egressos afirmando não saber avaliar o seu nível de conhecimento sobre radioatividade. Esta avaliação pode ser corroborada ou refutada pelas elaborações destes discentes quando solicitados a conceituar radioatividade.

A Tabela 9 apresenta a reprodução textual dos conceitos elaborados pelos discentes egressos, separados pelo nível de aprofundamento conceitual seguindo os critérios de categorização estabelecidos neste estudo, baseando-se nas respostas elaboradas pelos mesmos nos respectivos questionários. O número entre parêntese é indicativo da frequência de cada resposta:

Tabela 9: Entendimentos dos discentes egressos de um curso de formação docente em Química sobre radioatividade.

Grupo 1: NÍVEL DE CONHECIMENTO SUPERFICIAL OU AUSENTE.	Grupo 2: NÍVEL DE CONHECIMENTO MÉDIO OU BÁSICO.
– “Fenômeno decorrente de partículas radioativas, sendo derivadas de átomos radioativos onde estas partículas, α , β e γ estão presentes (1).”	– “É a emissão de partículas radioativas provenientes do núcleo dos átomos (1).”
– “É um fenômeno atômico/molecular de emissão de partículas devido à instabilidade nuclear dos átomos (1).”	– “Estudo sobre o fenômeno de decaimento do núcleo de um átomo: suas causas, consequências, tipos de decaimento e energias associadas (1).”

- “Elementos que possuem raios em altas concentrações e sem proteção são prejudiciais ao ser humano.”	- “Fenômeno que ocorre quando os elementos químicos radioativos como o cézio, o rádio, dentre outros emitem radiações (1).”
- “Algo que se não tiver proteção pode fazer mal à saúde (1).”	- “Emissão de ondas na faixa de comprimento na qual se convencionou chamar de radioatividade (1).”
- “Não sabe conceituar (2).”	

Fonte: Autoria própria

Uma análise destas elaborações textuais permite concluir sobre o conhecimento bastante superficial ou mesmo a ausência total de conhecimento dos discentes egressos do Grupo 1 sobre radioatividade, coerente com a avaliação que os mesmos fizeram sobre o seu nível de entendimento. Dois destes discentes não souberam conceituar este fenômeno e os demais o fizeram de maneira equivocada fazendo referência à:

- 1) *“Um fenômeno decorrente de partículas radioativas (α , β e γ) presentes no núcleo atômico”*. As emissões radioativas citadas são partículas energéticas (alfa e beta) ou radiação eletromagnética (gama) de alta frequência que são resultantes e emitidas no processo de desintegração nuclear. Elas não fazem parte da composição do núcleo atômico.
- 2) *“Elementos com altas concentrações de raios”*. O fenômeno de radioatividade está associado aos núclídeos instáveis e esta instabilidade depende da relação entre a quantidade de nucleons no núcleo atômico: prótons e nêutrons. Não existe concentração de raios no núcleo atômico. As radiações emitidas são resultados das energias de ligações dos nucleons – os quarks que são mantidos coesos no núcleo pelas forças nucleares fortes e de curto alcance. Além disto, os elementos químicos são constituídos por núclídeos isótopos, estáveis ou radioativos, com o tipo de emissão radioativa sendo específico de cada radionúclídeo.
- 3) *“Um fenômeno atômico/molecular de emissão de partículas devido à instabilidade nuclear dos átomos”*. A radioatividade é um fenômeno nuclear e não depende das características físicas (estado físico, anidro, dissolvido) ou químicas (forma elementar ou composta independentemente do tipo de ligação) dos radionúclídeos. O fenômeno da radioatividade natural envolve também a emissão de fótons de alta energia (radiação gama) pelos núcleos excitados além das partículas energéticas.

Por sua vez a maioria dos discentes egressos pertencentes ao Grupo 2, que avaliaram seu nível de conhecimento sobre a radioatividade como sendo médio ou básico, foram capazes

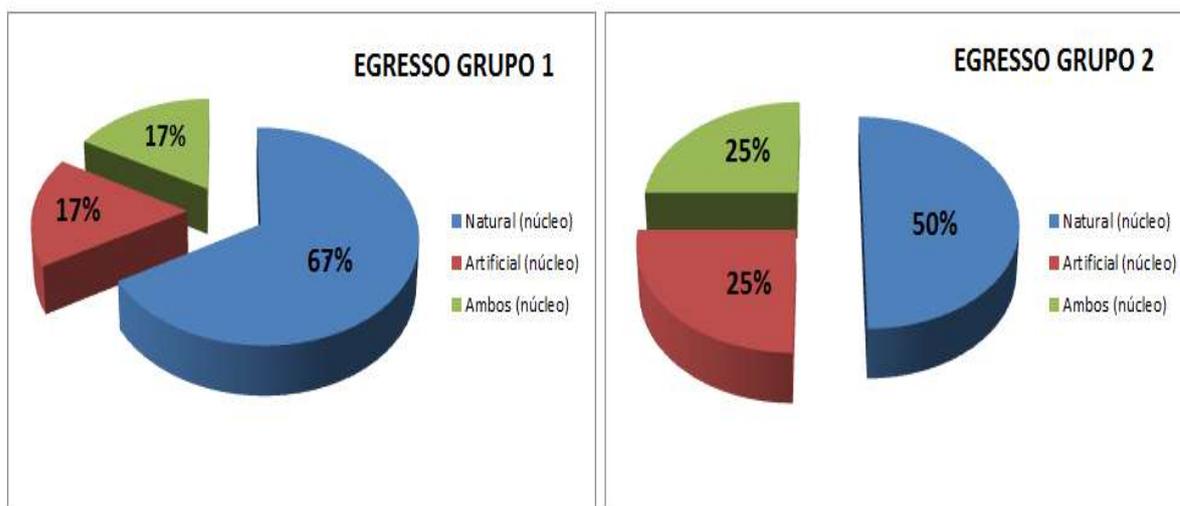
de formular conceitos que corroboram com a avaliação formuladas por eles mostrando a compreensão mesmo que limitada pela persistência de alguns equívocos conceituais:

- 1) “*Emissão de partículas radioativas provenientes do núcleo dos átomos*” sem fazer referência à radiação eletromagnética.
- 2) “*Estudo sobre o fenômeno de decaimento do núcleo de um átomo: suas causas, consequências, tipos de decaimento e energias associadas*”, relacionando o fenômeno ao núcleo e fazendo referência a diferentes modos de decaimento e energias associadas.
- 3) “*Fenômeno que ocorre quando os elementos químicos radioativos como o cério, o rádio, dentre outros emitem radiações*” sem fazer referência aos modos de decaimento e aos tipos de radiações emitidas.
- 4) “*Emissão de ondas na faixa de comprimento na qual se convencionou chamar de radioatividade*”. Atribui a radioatividade à emissão de ondas e sem fazer referência ao tipo de onda (eletromagnética) e a faixa de comprimento de onda que a caracteriza além de desconsiderar o decaimento com emissão de partículas.

Para subsidiar a discussão sobre o nível de conhecimento sobre radioatividade dos discentes ingressantes e egressos no referido curso de Formação docente em Química no primeiro período de 2017 e analisar a contribuição da formação na graduação para este aprendizado também foi solicitado aos discentes pesquisados que fizessem a classificação da radioatividade quanto a sua natureza (natural ou artificial) e origem atômica (relacionado ao núcleo ou a eletrosfera dos átomos).

A Figura 17 apresenta o resultado das respostas dos discentes egressos do referido Curso de formação docente em Química que integram o: (i) GRUPO 1 que inclui todos os discentes egressos com nível de conhecimento superficial ou ausente sobre radioatividade e (ii) GRUPO 2 que inclui todos os discentes egressos com nível de conhecimento médio ou básico sobre radioatividade. Os resultados desta classificação podem ser observados e comparados nos gráficos apresentados na Figura 17:

Figura 17: Classificação das respostas dos discentes egressos quanto à natureza e a origem atômica da radioatividade.

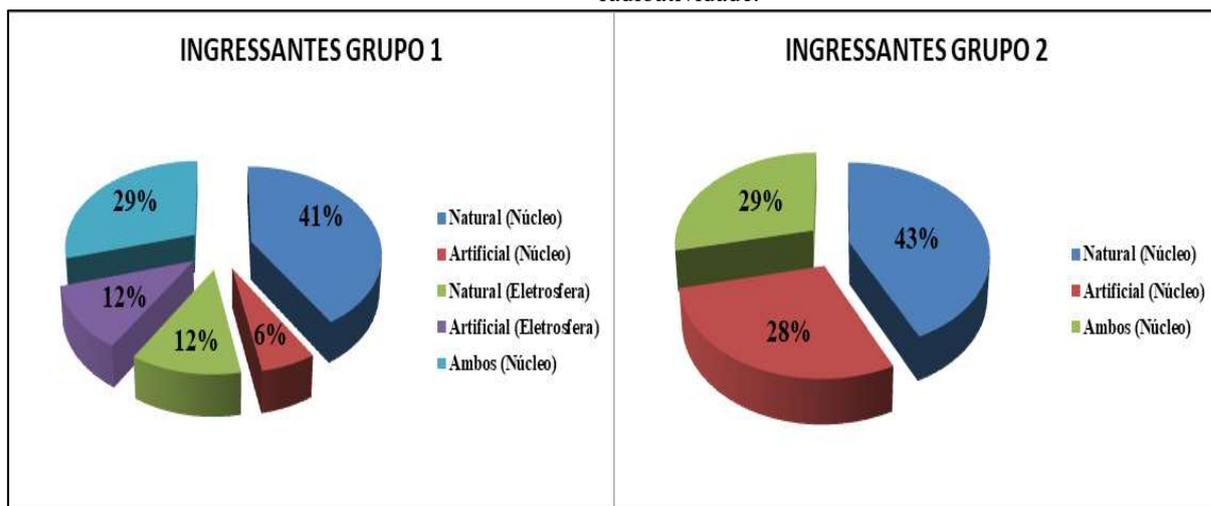


Fonte: Autoria própria

Verifica-se que a maioria dos discentes egressos, tanto do Grupo 1 (67%) quanto do Grupo 2 (50%) classificaram a radioatividade como sendo um fenômeno natural e associado ao núcleo atômico, enquanto que apenas uma minoria nestes dois Grupos – (17% no Grupo 1) e (25% no Grupo 2) – conseguiram classificar este fenômeno como sendo de origem nuclear e podendo ocorrer de forma natural ou artificial. Uma observação a ser feita em relação ao Grupo 2, é que apesar dos mesmos classificarem o seu nível de conhecimento sobre radioatividade como sendo médio ou básico, cerca de 25% destes discentes consideraram de forma equivocada a radioatividade como sendo de natureza apenas artificial.

A mesma análise sobre as respostas dos dois grupos de discentes ingressantes sobre a natureza e a origem da radioatividade também foi realizada para os dois grupos de discentes ingressantes e os dados sistematizados estão apresentados nos gráficos apresentados na figura 18 apresentada a seguir:

Figura 18: Classificação das respostas dos discentes egressos quanto à natureza e a origem atômica da radioatividade.



Fonte: Autoria própria

Analisando os gráficos da figura 18 pode-se ver que há uma pequena diferença na porcentagem dos discentes ingressantes pertencentes aos dois grupos (41% no Grupo 1) e (43% no Grupo 2) com relação a origem da radioatividade que consideraram o fenômeno da radioatividade como sendo de origem natural e relacionado ao núcleo atômico. Tanto no Grupo 1 quanto no Grupo 2 as porcentagens dos discentes ingressantes que relacionam a radioatividade como sendo um fenômeno natural e artificial, relacionado ao núcleo atômico foi o mesmo, ou seja, 29%. Observa-se ainda uma grande diferença entre os percentuais dos discentes ingressantes dos dois grupos que consideram a radioatividade como sendo um fenômeno de natureza artificial e relacionado ao núcleo: (6% no Grupo 1) e (28% no Grupo 2). No entanto, 24% dos discentes ingressantes pertencentes ao Grupo 1 fizeram menção a radioatividade como sendo um fenômeno de origem natural e relacionado a eletrosfera (12%) ou como sendo um fenômeno de origem artificial e relacionado a eletrosfera (12%) do átomo.

Portanto os dados do estudo estão coerentes com o nível de compreensão definidos pelos discentes ingressantes pertencentes ao Grupo 2 como sendo médio ou básico de entendimento sobre radioatividade: um fenômeno, natural ou artificial, através do qual um nuclídeo instável se transmuta em outro nuclídeo mais estável com emissão de radiação, na forma de partículas energéticas e ondas eletromagnéticas de alta frequência.

Comparado as concepções dos discentes egressos e ingressantes sobre o entendimento conceitual e a natureza do fenômeno de radioatividade pode-se concluir que ambos os grupos possuem dificuldade e não sabem conceituar ou classificar de modo correto a origem do fenômeno investigado com apenas 58% dos discentes ingressantes (Grupo 1 e Grupo 2) e 42%

dos discentes egressos (Grupo 1 e Grupo 2) elaborando de forma correta estas concepções. O menor percentual dos discentes egressos é indicativo de que a formação na graduação no curso investigado não tem favorecido o aprofundamento dos conhecimentos prévios dos discentes ao longo da sua formação avaliando apenas a capacidade destes discentes em conceituar corretamente o fenômeno de radioatividade e de identificar a sua natureza e origem partindo da premissa que este entendimento conceitual precede os demais.

5.2 IDENTIFICAR OS FATORES PEDAGÓGICOS E CURRICULARES, QUE CONTRIBUÍRAM PARA O NÍVEL DE EVOLUÇÃO CONCEITUAL OBSERVADO AO LONGO DO PROCESSO FORMATIVO DESSES DISCENTES.

Na perspectiva de que a Ciência Nuclear e suas tecnologias é uma temática que deve integrar os currículos no Ensino Médio brasileiro, atualmente recomendado nos Parâmetros Curriculares do Ensino Médio (BRASIL, 2002) o Projeto Pedagógico do Curso (PPC) de formação docente em Química da comunidade acadêmica investigada estabelece que a Química Nuclear seja abordada no terceiro período do referido Curso como um dos subtópicos da ementa do componente curricular “Química Geral II”, com carga horária semestral equivalente a sessenta horas (60h) e cujo conteúdo programático constante neste PPC inclui discussão sobre: a constituição do núcleo atômico, a massa atômica, a energia e a estabilidade nuclear, radioatividade e a cinética dos processos radioativos.

Partindo da premissa de que os discentes egressos do Curso receberam anteriormente esta formação foi solicitado que os mesmos fizessem uma avaliação sobre a contribuição dessa formação na graduação para o entendimento conceitual da radioatividade além de identificar os fatores pedagógicos e curriculares que contribuíram para os resultados alcançados.

Estes dados estão sistematizados na Tabela 10, com o nível de significação do processo de ensino-aprendizagem além dos tópicos abordados no desenvolvimento deste processo. O número entre parêntese é indicativo da frequência de cada resposta:

Tabela 10: Significação da formação docente para o entendimento dos discentes egressos sobre radioatividade e os tópicos aprofundados no processo de ensino-aprendizagem do referido Curso.

SIGNIFICAÇÃO DA FORMAÇÃO	TÓPICOS DESENVOLVIDOS NA FORMAÇÃO
Contribuição Significativa para a Formação	
– “O Curso contribuiu bastante para a compreensão da radioatividade e suas influências nas tecnologias (1).”	– “Impactos na natureza, na medicina, importância para conhecer os mecanismos, etc.” (1).
– “Exceto pela disciplina eletiva de Química Nuclear, a maioria dos alunos não veem a temática pois a disciplina de Química Geral II onde o tema está incluso não tem tempo hábil para estudar o mesmo” (1).	– “Fusão, fissão, tipos de radiação, tipos de partículas e suas propriedades, propriedades das moléculas e átomos radioativos”. (1).
Contribuição Pouco Significativa para a Formação	
– “Foi importante, pois pudemos ter uma noção dos efeitos da radiação, porém sem aprofundamento”. (1)	– “Não sei dizer no momento” (1).
Nenhuma Contribuição para a Formação	
– “Muito precário devido a contestável focalização em cadeiras pedagógicas em detrimento da Química Pura”. (1)	– “Superficialmente, pois não foi abordado como tópico específico” (1).
– “Não tive formação no nível superior sobre radioatividade” (1)	– “Não posso relacionar, pois não tive informação no nível superior”. (1)
– “Não tive oportunidade de colocar a única cadeira eletiva a qual tratava sobre o assunto” (1).	– “Não vi na graduação logo não tenho como relacionar” (1).
– “Não vi durante o Curso” (1).	– “Como não tive conhecimento não posso relacionar” (1).
– “Não sei informar” (1).	– “Não tive nenhum estudo sobre o assunto” (1).
– “Não lembro que tive contato com este tema” (1).	– “Sem resposta” (1)
– “Como não me lembro de ter tido um tópico ou cadeira relacionada ao assunto, o que sei não me faz avaliar as contribuições”. (1)	– “Evolução atômica e as experiências de Rutherford” (1).

Fonte: Autoria própria

A análise dos dados do estudo, apresentados na tabela 10, permitiu identificar três tipos de categorias de respostas elaboradas pelos discentes egressos de curso de formação docente em Química investigados: (1) Contribuição significativa para a formação. (2) Contribuição pouco significativa para a formação. (3) Nenhuma contribuição para a formação.

A maioria dos discentes considerou que o curso teve uma contribuição pouco significativa ou nenhuma para o entendimento da radioatividade. Apenas dois dos discentes investigados consideraram que a formação no curso teve uma contribuição significativa para o entendimento da temática investigada. No entanto estes discentes foram aqueles que tiveram contato com o assunto através do componente curricular eletivo “Introdução à Química Nuclear”, com carga horária semestral de trinta horas (30h) indicando, na visão destes discentes, a necessidade de uma reestruturação curricular que permita à Comunidade Acadêmica deste curso um conhecimento mais aprofundado sobre a Ciência Nuclear enquanto futuros docentes e com competências necessárias para trabalhar estes conteúdos no Ensino Médio numa perspectiva CTSA, como pode ser observados nas falas dos discentes pesquisados transcritas a seguir:

Discente A - “Regular, foi ofertada uma eletiva específica, entretanto não são todos os alunos que tem acesso, por não ser ofertada regularmente, a disciplina forneceu uma aula de campo (excursão), produção de artigos, apresentação de seminários, foi muito produtiva, o tema radioatividade não foi visto em Geral II.”

Discente B - “Exceto pela disciplina eletiva de Química Nuclear a maioria dos alunos não veem a temática, pois a disciplina de Química Geral II onde o tema está incluso não tem tempo hábil para estudar o mesmo”.

Portanto, na visão destes discentes um dos fatores pedagógicos que podem ter contribuído para não entendimento conceitual da radioatividade ao longo deste processo formativo é temporal. Como já citado anteriormente por Sá e Santin Filho o tempo realmente é um dos fatores que contribuem para que determinados temas não sejam abordados e aprofundados ao longo do processo de ensino-aprendizagem, especificamente no caso dos currículos com ementas densas em conteúdos com os docentes priorizando assuntos por ordem ou por domínio.

Esta omissão na formação docente inicial irá trazer reflexos em longo prazo no Ensino Médio brasileiro devido à falta de conhecimento aprofundado sobre a Ciência Nuclear e de competências para a sua abordagem que continuará sendo feita de forma superficial se limitando a descrever as radiações nucleares naturais mais comuns (alfa, beta, gama) ou dando ênfase aos assuntos mais divulgados nos meios de comunicação e na internet, tais como os acidentes nucleares e, sendo assim, dando ênfase apenas aos malefícios da Ciência e das tecnologias nucleares.

Quando solicitados que relacionassem os tópicos sobre radioatividade desenvolvidos durante a formação os discentes egressos participantes deste estudo relacionaram: (i) “*Evolução atômica e os experimentos de Rutherford*”. (ii) “*Impacto na natureza, na medicina, importância de conhecer os mecanismos, etc*”. (iii) “*Fissão e Fusão nuclear, tipos de radiação, tipos de partícula e suas propriedades, propriedades das moléculas e átomos radioativos*”. Observa-se que apenas um dos discentes consegue relacionar a maioria dos tópicos da ementa do componente curricular Química Geral II, no entanto sem se referir a uma abordagem CTSA da Ciência Nuclear e suas tecnologias contempladas por apenas um dos discentes. Os demais discentes, aqueles que contemplam a maior parte não viram o tema em sala de aula, logo não afirmam não ter tido nenhum tipo de contribuição advindo do curso em formação docente.

5.3 COMPREENSÃO DA RADIOATIVIDADE NUMA PERSPECTIVA CTSA.

Foram separados dois tópicos que relacionavam a radioatividade numa perspectiva CTSA, nesses tópicos apenas os discentes egressos responderam, visto que os tópicos estavam relacionados ao nível de conhecimento conceitual sobre a radioatividade durante a formação docente em Química, no primeiro tópico era pedido para os discentes que os mesmos opinassem sobre o que achava da radioatividade ser trabalhada numa abordagem CTSA (Ciência Tecnologia e Meio Ambiente), no segundo tópico era pedido que os discentes dessem sua justificativa para o que achavam de trabalhar a temática radioatividade no ensino médio.

Todos os discentes foram unânimes afirmando que o tema sobre a radioatividade poderia sim ser abordado numa perspectiva CTSA, levando em consideração os seguintes aspectos:

- Impactos ambientais: *“Sim utilizando de famosos acidentes que envolvem o tema pode-se contextualizar uma boa discussão”*.
- Questões políticas: *“Sim, é uma tema bastante importante, principalmente no cenário político que vivemos, onde grandes países produzem armas químicas e radioativas, além da utilização de usinas nucleares para a produção de energia”*.
- Benefícios e aplicações tecnológicas: *“Sim, pois dois exemplos usados é a utilização na conservação de alimentos e na produção de energia elétrica”*.

Uma análise das transcrições textuais das respostas elaboradas pelos discentes investigados permite identificar que os mesmos fazem referência a vários aspectos da Ciência Nuclear e suas tecnologias, e por se tratar de um tema que geralmente é abordado de forma fragilizada, descontextualizada e fragmentada, estes discentes acreditam que trazendo o enfoque CTSA para dentro da temática radioatividade a contextualização irá fomentar o interesse pelo conhecimento, uma vez que este enfoque aborda a ciência, tecnologia, sociedade e o meio ambiente possibilitando uma formação na e para a cidadania.

Bez e colaboradores (2013, p. 515) afirmam que, a ciência nuclear e suas tecnologias devem ser contempladas nos currículos do Ensino Médio e do Ensino Superior com abordagem interdisciplinar e no contexto CTSA contribuindo para o desenvolvimento da criticidade, elaboração de análise sob pontos de vistas diferenciados, respeito às opiniões divergentes, exposição dialogada além de proporcionar aos discentes uma visão mais ampla sobre as

questões sociais, ambientais e políticas que os cercam, e o mais importante, desmistificando o entendimento que muitos ainda possuem associando apenas malefícios a esta Ciência. Quando os discentes foram indagados sobre a importância de o tema radioatividade ser abordado no Ensino Médio de Química, todos foram unânimes sobre esta importância levando em consideração:

- *“Sim, é importante que os alunos tenham conhecimento sobre o assunto para poder intervir na sociedade e analisar com criticidade os acontecimentos em todo mundo”.*
- *“Sim, ao se trabalhar com radioatividade no ensino médio, você desperta no aluno a criticidade e curiosidade sobre o conceito, inclusive mostrando que muitos dos acontecimentos que eles ouviram falar ocorreram por conta de fatores presentes neste assunto”.*
- *“Sim, pois por mais que o tema seja um pouco complexo, é necessário para o desenvolvimento crítico do cidadão”.*
- *“Sim, normalmente os alunos nível médio conhece sobre radioatividade o que a mídia mostra, porém seus avanços contribuem para ciência e na área medicinal”.*

As descrições acima sobre a importância de trabalhar a radioatividade no ensino médio deixa clara a visão pautada dos discentes, que embora não tenham tido a oportunidade de estudarem sobre esta temática ao longo de sua formação, a consideram importante, por proporcionar aos estudantes uma visão crítica sobre a Ciência Nuclear e suas tecnologias deixando-os informados sobre todos os benefícios que esta ciência proporciona bem como os riscos inerentes em decorrência da imprudência de pessoas mal informadas no assunto.

Desse modo, esta temática sobre a ciência nuclear e suas tecnologias deve integrar os currículos no Ensino Médio Brasileiro atualmente recomendado nos PCNEM de Química (Brasil, 2002). Além de estar presente também no Ensino Superior. Abordando o conceito formal e conceitual: núcleo atômico e suas transformações, os tipos de emissões radioativas e a cinética de desintegração, bem como a transmutação artificial, além de envolver o enfoque CTSA em suas abordagens, pois como afirma Sá e Santin (2009) “contemplar uma visão pautada nas relações Ciência, Tecnologia, e Sociedade auxilia o desenvolvimento de um cidadão crítico, atuante, envolvido com a sociedade em que está inserido.

6 CONCLUSÃO

O estudo sobre a radioatividade envolve questões atuais presentes na sociedade, tais como: avanços tecnológicos, medicina, meio ambiente, lixo atômico, energia, entre outros. Desse modo, é importante que este tema seja trabalhado nos âmbitos educacionais afim de minimizar a ideia negativa sobre a radioatividade que muitos ainda possuem. Em vista disso, foi proposto aos discentes ingressantes e egressos que os mesmos dessem suas concepções acerca da radioatividade, com base no que eles já haviam estudado, ou ouvido falar, e após levantamento, análise e sistematização dos dados deste estudo pode-se concluir que os discentes ingressantes e egressos de um curso de formação docente em Química que participaram desta pesquisa possuíam um conhecimento mínimo sobre a radioatividade, os dados foram obtidos por meio de questionários, e em ambos os grupos de discentes foi possível notar o quão fragilizado está o conhecimento deles sobre a radioatividade, uma vez que as respostas apresentadas são vagas, erradas e focadas apenas nos malefícios decorrentes desta ciência, este resultado demonstra que o conteúdo não é ensinado de maneira eficiente, o que comprova aquilo que é dito na literatura sobre este tema.

Os sujeitos da pesquisas (discentes egressos) ainda analisaram os fatores pedagógicos e curriculares que vieram ou não a contribuir com o nível de entendimento conceitual ao longo de sua formação docente, e apenas dois dos discentes egressos afirmaram ter tido algum tipo de contribuição para a formação nesta área, os demais ficaram divididos em nenhum tipo de contribuição ou contribuição pouco significativa ao longo do processo formativo, evidenciado assim a omissão nesta área de estudo, o que de certa maneira refletirá mais adiante em sua prática docente, pois o conhecimento que possuem sobre o tema é mínimo ou nulo. Quando questionados sobre a compreensão da radioatividade numa perspectiva CTSA, os discentes são bem claros quanto a sua opinião, apesar da maioria não ter tido nenhum tipo de contato com o assunto em questão, eles reconhecem que é possível trabalhar a radioatividade com enfoque CTSA em sala de aula, uma vez que, traz motivação para os discentes, isto porque abordará questões do cotidiano dos mesmos, proporcionando um sentido àquilo que se aprende.

Após esta discussão levantada em torno deste assunto é possível responder a indagação proposta no início deste estudo, ou seja se o processo de ensino-aprendizagem num curso de formação docente em Química tem favorecido o entendimento aprofundado sobre o fenômeno da radioatividade num enfoque CTSA concluindo-se, portanto, que não, pois o conhecimento apresentada é mínimo, superficial e distorcido. Dessa forma, este estudo possibilitou ver que

que há muita coisa a ser reformulada, compreendida, e ensinada nesta área da ciência nuclear, tanto no Ensino Médio, quanto no Ensino Superior.

Espera-se contudo que haja uma reformulação na grade curricular do curso, pois ao invés de ser ofertada como tópico da disciplina de Química Geral II, e não ser abordada ao longo do curso, deveria se tornar uma eletiva, aumentando assim o seu grau de ampliação no decorrer do curso, visto que a eletiva ofertada nessa área é apenas de 30 h semestrais, o que não dá para trabalhar todos os conteúdos interessantes da área.

REFERÊNCIAS

BBC - Corporação Britânica de Radiodifusão, 2016. [internet] Disponível em: <http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2016/01/160121_litvinenko_putin_tg>.

Acesso em: 19/01/2017

BEZ, Tiago Velho; ALEXANDRE, Wesley; COSTA, Samuel. **A RADIOATIVIDADE NA VISÃO DOS ALUNOS DE UM CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS DA NATUREZA**. *Revista Técnico Científica do IFSC*, v. 1, n. 5, p. 514, 2013.

CASA DA CULTURA – Disponível em: <http://www.casadacultura.org/andre_masini/ensaios/historia_do_eter.html> Acesso em: 19/06/2017

CHAER, Galdino; DINIZ, Rafael Rosa Pereira; RIBEIRO, Elisa Antônia. **A técnica do questionário na pesquisa educacional**. *Revista Evidência*, v. 7, n. 7, 2012.

CEMBER, Herman, **Introduction to health physics**. 3^a ed. Includes bibliographical references and index. 1996. ISBN 0-07-105461-8

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2017. [internet] Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/institucional/40-lei-de-acesso-a-informacao/76-competencias>>.

Acesso em: 17/01/2017

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2017. [internet] Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/apostila-educativa-aplicacoes.pdf>>. Acesso em: 19/01/2017

DE SOUZA MINAYO, Maria Cecília. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. Editora Vozes Limitada, 2011.

DORGIVAL, Edvan et.al. **Efeitos biológicos provocados pela radiação ionizante em seres humanos**. (sem data)

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.

Energia Nuclear, 2017. [internet] Disponível em: <<http://pt.energia-nuclear.net/aplicacoes/energia-nuclear-industria>>. Acesso em: 17/01/2017

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

KERR, Lucy, **Efeitos biológicos da radiação**. 2010, Disponível em: <<https://lucykerr.wordpress.com/2010/11/20/efeitos-biologicos-da-radiacao/>>
Acesso: 26/07/2017

LEE, John, **Química inorgânica não tão concisa**. 5ª ed. Inglesa: Henrique E. Toma, Koiti Araki, Reginaldo C. Rocha – São Paulo: Blucher, 1999. ISBN 978-85-212-0176-2

MARTINS, Roberto A. **Como Becquerel não descobriu a radioatividade. Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 7, p. 27-45, 1990.

Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). PCN + Ensino médio: **orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC/Semtec, 2002.

OKUNO, Emico. **Efeitos biológicos das radiações ionizantes: acidente radiológico de Goiânia. estudos avançados**, v. 27, n. 77, p. 185-200, 2013.

SÁ, Marilde Beatriz Zorzi; SANTIN FILHO, Ourides. **Relações entre ciência, tecnologia e sociedade em livros didáticos de química-DOI: 10.4025/actascihumansoc. v31i2. 461. Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**, v. 31, n. 2, p. 159-166, 2009.

TAUHATA, Luiz; ALMEIDA, Elizabeth, **Energia nuclear e suas aplicações - Radiações nucleares: Usos e Cuidados**, 1984.

VIEIRA, Suzane de Alencar. Césio-137, **um drama recontado. estudos avançados**, v. 27, n. 77, p. 217-236, 2013.

YIN, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

APÊNDICES**APÊNDICE A: Instrumento de coleta de dados para os discentes ingressantes do Curso investigado.****UFPE/CAA****Química-Licenciatura**

Objetivo da Pesquisa: Refletir sobre as contribuições da formação docente em Química para o entendimento da radioatividade numa perspectiva CTSA

Pesquisa orientada pela Professora Dr^a: Jane Maria Gonçalves Laranjeira

Orientanda: Camila Viviane S. Ribeiro

1. Perfil sócio educacional

Sexo: Feminino () Masculino ()

Idade: _____

Período de matrícula atual:

Ano que concluiu o ensino médio:

Escola Pública () Escola Técnica () Escola Privada ()

2. Nível de conhecimento conceitual sobre radioatividade para discentes ingressantes e egressos no curso de formação docente em Química

- (i) Você teve contato com o conceito de radioatividade ao longo do seu processo formativo?
- (ii) Descreva o seu grau de aprofundamento sobre radioatividade decorrente desse processo formativo.
- (iii) Conceitue o fenômeno de radioatividade.
- (iv) Classifique a radioatividade como um fenômeno natural ou artificial indicando se está relacionado com a eletrosfera ou o núcleo atômico.

APÊNDICE B: Instrumento de coleta de dados para os discentes egressos do Curso investigado.

1. Perfil sócio educacional

Sexo: Feminino () Masculino ()

Idade: _____

Período de matrícula atual:

Ano que concluiu o ensino médio:

Escola Pública () Escola Técnica () Escola Privada ()

2. Nível de conhecimento conceitual sobre radioatividade para discentes ingressantes e egressos no curso de formação docente em Química

- (i) Você teve contato com o conceito de radioatividade ao longo do seu processo formativo?
- (ii) Descreva o seu grau de aprofundamento sobre radioatividade decorrente desse processo formativo.
- (iii) Conceitue o fenômeno de radioatividade.
- (iv) Classifique a radioatividade como um fenômeno natural ou artificial indicando se está relacionado com a eletrosfera ou o núcleo atômico.
- (v) Avalie a contribuição do seu curso de formação docente no Ensino Superior para o entendimento conceitual da radioatividade, identificando os fatores pedagógicos e curriculares que contribuíram para esse entendimento.
- (vi) Relacione os tópicos desenvolvidos sobre radioatividade durante o seu curso de formação docente no Ensino Superior.
- (vii) Você acha que o tema radioatividade pode ser abordado numa perspectiva CTSA (Ciência Tecnologia e Meio Ambiente)? Justifique
- (viii) Você considera importante trabalhar essa temática no ensino médio de Química? Justifique