

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

LUCLÉCIA DIAS NUNES

**O ACIDENTE RADIOLÓGICO DE GOIÂNIA E SEUS
DESDOBRAMENTOS NOS CURRÍCULOS DA LICENCIATURA EM
QUÍMICA EM GOIÁS: uma leitura freireana**

Goiânia
2021





UFG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE QUÍMICA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese

2. Nome completo do autor

Luclecia Dias Nunes

3. Título do trabalho

O ACIDENTE RADIOLÓGICO DE GOIÂNIA E SEUS DESDOBRAMENTOS NOS CURRÍCULOS DA LICENCIATURA EM QUÍMICA EM GOIÁS: UMA LEITURA FREIREANA

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);
- b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SB pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Nyara Araújo Da Silva Mesquita, Professora do Magistério Superior**, em 13/12/2021, às 14:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luclecia Dias Nunes, Usuário Externo**, em 13/12/2021, às 15:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2569513** e o código CRC **565D26CC**.

LUCLÉCIA DIAS NUNES

O acidente radiológico de Goiânia e seus desdobramentos nos currículos da licenciatura em Química em Goiás: uma leitura freireana

Tese de doutorado apresentada ao programa de Pós-graduação em Química, do Instituto de Química, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de doutora em Química, na área de concentração em Química.

Orientadora: Profa. Dra. Nyuara Araújo da Silva Mesquita

Goiânia

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Nunes, Luclécia Dias
O ACIDENTE RADIOLÓGICO DE GOIÂNIA E SEUS
DESDOBRAMENTOS NOS CURRÍCULOS DA LICENCIATURA EM
QUÍMICA EM GOIÁS [manuscrito] : uma leitura freireana / Luclécia
Dias Nunes. - 2021.
207 f.: il.

Orientador: Profa. Dra. Nyuara Araújo da Silva Mesquita.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de
Química (IQ), Programa de Pós-Graduação em Química, Goiânia, 2021.
Bibliografia. Anexos. Apêndice.
Inclui siglas, fotografias, abreviaturas, símbolos, gráfico, tabelas,
lista de figuras, lista de tabelas.

1. Acidente radiológico. 2. Licenciatura em Química. 3. Educação
problematizadora. 4. Alfabetização Científica. 5. Paulo Freire. I.
Mesquita, Nyuara Araújo da Silva, orient. II. Título.

CDU 54



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

INSTITUTO DE QUÍMICA

ATA DE DEFESA DE TESE

Ata nº 131 da sessão da Defesa de Doutorado de **Luclecia Dias Nunes**, que confere o título de **Doutora em Química**, na área de concentração em **Química**.

Aos **2 (dois) dias do mês de dezembro de 2021 (dois mil e vinte e um)**, a partir das **14h00m**, via **videoconferência**, realizou-se a sessão pública da Defesa de Doutorado intitulada "**O ACIDENTE RADIOLÓGICO DE GOIÂNIA E SEUS DESDOBRAMENTOS NOS CURRÍCULOS DA LICENCIATURA EM QUÍMICA EM GOIÁS: UMA LEITURA FREIREANA**". Os trabalhos foram instalados pela Orientadora, **Profª. Drª. Nyuara Araújo da Silva Mesquita (IQ-UFG)**, com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: **Prof. Dr. Marlon Herbert Flora Barbosa Soares (IQ-UFG)**, **Prof. Dr. Juvenal Carolino da Silva Filho (IQ-UFG)**, **Profª. Drª. Cinthia Letícia de Carvalho Roversi Genovese (FE-UFG)** e **Profª. Drª. Flávia Cristiane Vieira da Silva (UFRPE)**. Durante a arguição os membros da banca não fizeram sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Defesa de Doutorado, tendo sido a candidata **aprovada** pelos seus membros. Proclamados os resultados pela **Profª. Drª. Nyuara Araújo da Silva Mesquita**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos 2 (dois) dias do mês de dezembro de 2021 (dois mil e vinte e um).

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Nyuara Araújo Da Silva Mesquita, Professora do Magistério Superior**, em 02/12/2021, às 17:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marlon Herbert Flora Barbosa Soares, Professor do Magistério Superior**, em 07/12/2021, às 12:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Juvenal Carolino Da Silva Filho, Coordenador de Curso**, em 07/12/2021, às 13:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cinthia Letícia De Carvalho Roversi Genovese, Professor do Magistério Superior**, em 09/12/2021, às 11:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2540343** e o código CRC **6C985A52**.



UFG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE QUÍMICA

DESPACHO

Atesto, na condição de presidente da banca examinadora, conforme o item 04 da instrução normativa da PRPG nº 001, de 27 de março de 2020, que a **Profª. Drª. Flávia Cristiane Vieira da Silva (UFRPE)** participou, como avaliadora, da banca examinadora de defesa de doutorado intitulada "O ACIDENTE RADIOLÓGICO DE GOIÂNIA E SEUS DESDOBRAMENTOS NOS CURRÍCULOS DA LICENCIATURA EM QUÍMICA EM GOIÁS: UMA LEITURA FREIREANA" da discente Luclecia Dias Nunes, ocorrida aos 2 (dois) dias do mês de dezembro de 2021 (dois mil e vinte e um).

Profª. Drª. Nyuara Araújo da Silva Mesquita

Presidenta da Banca Examinadora



Documento assinado eletronicamente por **Nyuara Araújo Da Silva Mesquita, Professora do Magistério Superior**, em 07/12/2021, às 12:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2553778** e o código CRC **3FD00EB2**.

Dedico este trabalho especialmente a duas
criaturinhas de luz, meu filho Henrico e minha
filha Lavínia, hoje com nove e sete anos,
respectivamente. Mamãe ama vocês acima
de qualquer coisa, é um amor tão grande
que dói.
Vivo por vocês!

AGRADECIMENTO

A Deus por ter me dado força para enfrentar as dificuldades e os desafios dessa caminhada.

Aos meus queridos e amados pais, Hermes e Cecília por terem me apoiado e incentivado a estudar, me mostrando desde de criança a importância da educação na vida de uma pessoa.

As minhas irmãs Julielle e Kézia pelo carinho, apoio e ajuda não só durante o meu doutoramento, mais ao longo da vida.

A Letícia pelo companheirismo, amizade e carinho, estando sempre ao meu lado em todos os momentos da minha vida.

Aquela que um dia topou o desafio de fazer doutorado junto comigo, dividindo as angústias, os problemas, as tensões e as dificuldades enfrentadas ao longo dos últimos anos, obrigada por tudo, Marilene.

Ao professor Marlon, um amigo querido, obrigada pelos ensinamentos que muito contribuíram para a concretização deste trabalho e pela amizade sincera.

Especialmente aquele que há mais de vinte anos aquece o meu coração, é meu amigo, meu companheiro, minha paixão, meu amor, Hernane. Obrigada por estar comigo nessa jornada, seu apoio foi fundamental para a realização desse sonho, sem ele eu não teria conseguido completar essa missão. Obrigada também por me acolher, me ouvir, me compreender, enfim, por estar comigo em todos os momentos, sejam bons ou ruins, e principalmente por ter topado formar uma linda família comigo. Você é um esposo e um pai maravilhoso. Te amo!

Quero agradecer a mulher mais incrível e humana que eu já conheci, a minha orientadora, professora Dra. Nyuara Araújo da Silva Mesquita, obrigada pela paciência, pelo carinho, pelo seu precioso tempo dispendido, por ter compartilhado seus conhecimentos comigo, por ter contribuído com o meu crescimento profissional e pessoal e por ter aceitado o desafio de me orientar. Aprendi muito com você, um exemplo de mulher, profissional e cientista, serei eternamente grata!

Por fim, a todos os amigos e amigas que de alguma forma contribuíram para que este sonho fosse realizado, seja direta ou indiretamente, estando comigo em momentos de angústia, de tristeza, de dúvidas, me ajudando no enfrentamento de problemas diversos ou simplesmente me ouvindo.

“Na compreensão da História como possibilidade, o amanhã é problemático. Para que ele venha é preciso que o construamos mediante a transformação do hoje. Há possibilidades para diferentes amanhãs. A luta já não se reduz a retardar o que virá ou a assegurar a sua chegada; é preciso reinventar o mundo. A educação é indispensável nessa reinvenção. Assumirmo-nos como sujeitos e objetos da História nos torna seres da decisão, da ruptura”.

(Paulo Freire)

RESUMO

Ocorreu em Goiânia, em 1987, um acidente radiológico com uma fonte de Césio 137, o qual poderia ter sido evitado se os envolvidos tivessem conhecimentos básicos sobre alguns símbolos relacionados ao contexto científico e à Radioatividade, o que evidencia o papel da escola e dos professores no que diz respeito à alfabetização científica. Desse modo, esta pesquisa buscou compreender as relações entre a temática Radioatividade e a alfabetização científica, na formação de professores de Química, no estado de Goiás e as possíveis implicações na sua atuação docente. Para isso, foi feita uma leitura do acidente radiológico a partir do olhar freireano, buscando entender as relações sociais que emergiram no contexto das ações imbricadas na história do acidente. Também analisamos os PPC de licenciaturas em Química ofertados pelas IES do estado e questionários enviados aos professores da educação básica, a fim de identificar se os cursos contemplam a temática Radioatividade e o acidente em foco, para compreendermos, em termos de formação e ação docente, os reflexos obliteradores da (não) abordagem do tema Radioatividade na formação inicial para uma prática pedagógica que considere a alfabetização científica como elemento (trans)formador. No processo analítico trabalhou-se com duas categorias *a priori*: a formação de professores de Química no estado de Goiás e a alfabetização científica; e a abordagem da Radioatividade na formação dos professores de Química e uma categoria emergente: as influências da formação inicial em relação à temática Radioatividade na atuação docente dos professores de Química da educação básica. Como interlocutor teórico desta tese e da análise dos dados, utilizamos o referencial teórico a partir de Paulo Freire. Ao analisar a primeira categoria, percebemos que nos PPC há evidências de que as IES estão conduzindo a formação dos licenciandos em Química pelo viés da alfabetização científica, pois todos os documentos trazem, elementos que indicam uma proposta pedagógica que busca formar professores pelo viés crítico e reflexivo considerando elementos que caracterizam a formação para a cidadania. Já no processo de análise da segunda categoria, observou-se que das 16 IES que ofertam o curso de licenciatura em Química, nove PPC apresentam disciplinas que, de alguma forma, abordam a temática Radioatividade, três PPC possuem disciplinas específicas sobre a temática, mas apenas uma explícita na sua ementa que abordará os acidentes nucleares. A análise dos questionários mostrou que os professores ou não estudaram sobre a temática, ou a estudaram de forma superficial e o acidente foi pouco abordado, o que reverberou na sua atuação docente. Assim, o que inferimos, a partir dos documentos analisados, foi que, apesar de haver indícios que orientam o leitor inicialmente a vislumbrar que os licenciandos estão sendo formados na perspectiva de estarem preparados para, em sua futura ação docente, atuarem como professores de Química que alfabetizam cientificamente seus alunos, o conjunto da obra mostra que essa formação muito provavelmente não será alcançada em relação à temática Radioatividade. Pois, de modo geral, os professores formados em Química nas IES do Estado de Goiás não têm oportunidades de aprender e discutir o conteúdo Radioatividade e, principalmente, o acidente com o Césio 137, logo, não estão preparados para alfabetizar cientificamente os alunos da educação básica em relação à temática Radioatividade.

Palavras-chave: Acidente radiológico. Licenciatura em Química. Educação problematizadora. Alfabetização Científica. Paulo Freire.

ABSTRACT

In Goiânia, in 1987, a radiological accident occurred with a Cesium 137 source, which could have been avoided if those involved had basic knowledge about some symbols related to the scientific context and to Radioactivity, which highlights the role of the school and teachers with regard to scientific literacy. Thus, this research sought to understand the relationship between the theme Radioactivity and scientific literacy, in the formation of Chemistry teachers, in the state of Goiás and the possible implications for their teaching performance. For this, a reading of the radiological was made from the Freireana perspective, seeking to understand the social relations that emerged in the context of the actions imbricated in the history of the accident. We also analyzed the PPC for degrees in Chemistry offered by the IES in the state and questionnaires sent to basic education teachers, in order to identify whether the courses include the theme Radioactivity and the accident in focus, so that we can understand, in terms of teacher training and action, the obliterating reflexes of the (non)approach to the Radioactivity theme in initial training for a pedagogical practice that considers scientific literacy as a (trans)forming element. In the analytical process, two a priori categories were used: the formation of Chemistry teachers in the state of Goiás and scientific literacy; and the approach of Radioactivity in the training of Chemistry teachers and an emerging category: the influences of initial training in relation to the theme Radioactivity in the teaching performance of Chemistry teachers in basic education. As a theoretical interlocutor for this thesis and for data analysis, we used the theoretical framework from Paulo Freire. By analyzing the first category, we see that in the PPC there is evidence that the IES are conducting the training of undergraduates in Chemistry through the bias of scientific literacy, as all documents bring elements that indicate a pedagogical proposal that seeks to train teachers through a critical and reflective considering elements that characterize the formation for citizenship. In the process of analyzing the second category, it was observed that of the 16 IES that offer the degree course in Chemistry, nine PPC have disciplines that somehow address the theme Radioactivity, three PPC have specific disciplines on the theme, but only one explicit in its menu that will address nuclear accidents. The analysis of the questionnaires showed that the teachers either did not study on the theme, or studied it superficially and the accident was little discussed, which reverberated in their teaching performance. Thus, what we infer from the analyzed documents was that, although there are indications that guide the reader initially to glimpse that the undergraduates are being trained in the perspective of being prepared to, in their future teaching action, act as Chemistry teachers, who literate their students scientifically, the work as a whole show that this training will most likely not be achieved in relation to the Radioactivity theme. Because, in general, teachers trained in Chemistry at the IES in the state of Goiás do not have opportunities to learn and discuss Radioactivity content and, specially the accident with Cesium 137, therefore, they are not prepared to scientifically literate education students basic in relation to theme Radioactivity.

Keywords: Radiological accident. Chemistry graduation. Problem-solving education. Scientific literacy. Paulo Freire.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Marie e Pierre Curie com o aparelho de quartzo piezelétrico usado para medir a Radioatividade.....	70
Figura 2 -	Mineral Uraninita (pechblenda).....	71
Figura 3 -	Casal Curie e Becquerel, os vencedores do Prêmio Nobel de Física de 1903.....	72
Figura 4 -	O Poder de penetração das radiações.....	75
Figura 5 -	Efeitos das radiações não ionizantes e ionizantes nos átomos, respectivamente.....	78
Figura 6 -	Irradiação direta da molécula de DNA.....	79
Figura 7 -	Ionização indireta da molécula de água.....	79
Figura 8 -	O símbolo da radiação ionizante: Trifólio.....	81
Figura 9 -	Cabeçote do aparelho de radioterapia contendo uma cápsula de Césio 137.....	82
Figura 10 -	Lesões provocadas pelo Césio 137 nas vítimas do acidente ocorrido em Goiânia, em 1987.....	88
Figura 11 -	Ruínas do Instituto Goiano de Radioterapia.....	98
Figura 12 -	Partes do aparelho de radioterapia que continha a cápsula de Césio 137.....	98
Figura 13 -	Representação da fonte contendo o cloreto de Césio 137.....	99
Figura 14 -	A peça contendo o Césio 137 em uma cadeira na Vigilância Sanitária.....	101
Figura 15 -	Os sete locais principais que foram contaminados com o Césio 137 em Goiânia.....	102
Figura 16 -	A população de Goiânia sendo monitorada em busca de pessoas contaminadas.....	103
Figura 17 -	Fórmula estrutural do Azul da Prússia.....	104
Figura 18 -	Isolamento da área contaminada com o Césio.....	106
Figura 19 -	Demolição de casas e remoção da camada superficial do solo.....	106

Figura 20 - Demolição de casas contaminadas.....	107
Figura 21 - Acondicionamento dos rejeitos radioativos em tambores.....	107
Figura 22 - Tambores contendo lixo radioativo.....	108
Figura 23 - Construção do depósito definitivo para armazenar os rejeitos do Césio 137.....	108
Figura 24 - Local onde parte dos rejeitos do Césio 137 estão armazenados.....	108
Figura 25 - Sede administrativa do depósito definitivo dos rejeitos oriundos do acidente com o Césio 137.....	109
Figura 26 - Manchetes de jornais locais e nacionais sobre o acidente com o Césio 137.....	110
Figura 27 - Desmontagem de um PPC em elementos unitários.....	127
Figura 28 - Desmontagem de um PPC em elementos unitários.....	127
Figura 29 - Porcentagem dos PPC quanto à abordagem da temática Radioatividade.....	141
Figura 30 - Referências específicas sobre Radioatividade presentes no PPC3.....	151
Figura 31 - Referências da disciplina Química Nuclear e Radionuclídeos do PPC8.....	151
Figura 32 - Referências da disciplina Radioquímica do PPC9.....	151
Figura 33 - Referências da disciplina Oficina Pedagógica 1 do PPC13.....	152
Figura 34 - Referências da disciplina Química Nuclear do PPC14.....	152
Figura 35 - Porcentagem de professores formados nas décadas de 1980, 1990, 2000, 2010 e 2020.....	157
Figura 36 - Instituição de Ensino Superior na qual o professor foi formado.....	158
Figura 37 - Tempo de atuação do professor na educação básica.....	159
Figura 38 - Séries de atuação dos professores na educação básica.....	160
Figura 39 - Conteúdos sobre Radioatividade abordados pelos professores da graduação.....	161

Figura 40 - Abordagem dada pelo professor da graduação ao conteúdo Radioatividade.....	163
Figura 41 - Conteúdos/conceitos abordados pelos professores da educação básica sobre Radioatividade.....	168
Figura 42 - Aspectos abordados pelos professores em relação ao acidente com o Césio 137.....	169
Figura 43 - Recursos metodológicos utilizados pelos professores da educação básica para abordar o acidente radiológico com o Césio 137.....	172
Figura 44 - A forma como o acidente com o Césio 137 foi abordado durante as aulas sobre Radioatividade.....	172

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Artigos publicados nas revistas nacionais relacionando a temática Radioatividade com a formação de professores.....	92
Quadro 2 -	IES que ofertam o curso de licenciatura em Química no estado de Goiás.....	121
Quadro 3 -	As cores utilizadas para destacar os elementos unitários que compõem cada categoria.....	127
Quadro 4 -	Recortes dos PPC contendo elementos que indicam uma formação para a cidadania por meio da alfabetização científica.....	131
Quadro 5 -	Objetivo do curso presente no PPC12.....	133
Quadro 6 -	Habilidade e Competência dos egressos do curso nos PPC1, PPC2, PPC5, PPC6, PPC7, PPC8, PPC9, PPC10, PPC12, PPC13, PPC15 e PPC17.....	135
Quadro 7 -	Recortes dos PPC contendo elementos de uma formação crítica e reflexiva.....	136
Quadro 8 -	Objetivo do curso presente no PPC2.....	138
Quadro 9 -	Objetivo do curso presente no PPC5.....	138
Quadro 10 -	Objetivo do curso presente no PPC1.....	138
Quadro 11 -	Informações a respeito dos PPC, quanto a abordagem da temática Radioatividade.....	140
Quadro 12 -	Nomes, ementas, carga horária das disciplinas específicas sobre a temática Radioatividade.....	142
Quadro 13 -	Nomes e ementas das disciplinas gerais que abordam de alguma forma a temática Radioatividade.....	147
Quadro 14 -	As IES do estado de Goiás que oferecem o curso de licenciatura em Química, deveriam ofertar disciplinas específicas sobre a temática Radioatividade, com ênfase no acidente radiológico de 1987?.....	174

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Meias-vidas e tipos de decaimento para alguns radioisótopos...	76
Tabela 2 - Efeitos de uma única Dose de Radiação.....	80
Tabela 3 - Ano de formação e quantidade de profissionais formados em cada ano.....	157

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 -	Emissão de uma partícula α do decaimento do Urânio.....	73
Equação 2 -	Conversão de um nêutron em um próton.....	74
Equação 3 -	Emissão de uma partícula β pelo átomo de Iodo.....	74
Equação 4 -	Emissão gama (γ) pelo átomo de Urânio.....	75
Equação 5 -	(A) Decaimento do Césio 137 e (B) decaimento do Bário instável.....	77
Equação 6 -	Obtenção do Césio 137 a partir da fissão do Urânio.....	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Alfabetização Científica
ACT	Alfabetização Científico-Tecnológica
CARA	Centro Estadual de Assistência aos Radioacidentados
CDTN	Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
CEEPP-LNF	Centro de Excelência em Ensino e Pesquisa e Projetos Leide das Neves Ferreira
CNE	Conselho Nacional de Educação
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CP	Conselho Pleno
CRCN-NE	Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste
CRCN-CO	Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro Oeste
CRISA	Consórcio Rodoviário Intermunicipal
CTS	Ciência-Tecnologia-Sociedade
DNA	Ácido Desoxirribonucléico
ENEN	Exame Nacional do Ensino Médio
FEBEM	Fundação Estadual para o Bem Estar do Menor
GRR	Gerência de Rejeitos Radioativos
HNMD	Hospital Naval Marcílio Dias
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEN	Instituto de Engenharia Nuclear
IES	Instituição de Ensino Superior
IGR	Instituto Goiano de Radioterapia
INAMPS	Instituto Nacional de Assistência Médica da Previdência Social
IPASGO	Instituto de Assistência dos Servidores Públicos do Estado de Goiás
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
MEC	Ministério da Educação e Cultura
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios contínua
PNE	Plano Nacional de Educação
PPC	Projeto Pedagógico de Curso
RNA	Ácido Ribonucléico
SBPC	Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência

SESI

Serviço Social da Indústria

UFG

Universidade Federal de Goiás

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Alfa
Ba	Bário
β	Beta
Bq	Bequerel
C	Carbono
Cs	Césio
g	Gramma
I	Iodo
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetro
μm	Micrômetro
n	Nêutron
ppm	Parte por milhão
Sr	Estrôncio
Rb	Rubídio
REM	Roentgen Equivalent Man
Th	Tório
u	Unidade unificada de massa atômica
U	Urânio
%	Porcento
γ	Gama

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO – O DESPERTAR DA TEMÁTICA.....	21
1 ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA E/OU LETRAMENTO: DIÁLOGOS E TOMADA DE POSIÇÃO.....	28
1.1 LETRAMENTO E LETRAMENTO CIENTÍFICO.....	31
1.2 ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA.....	37
1.3 PAULO FREIRE E UMA LEITURA DO MUNDO.....	43
1.3.1 Para compreender Paulo Freire.....	43
1.3.2 A concepção de Paulo Freire sobre alfabetização.....	50
1.4 A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA E A FORMAÇÃO DE PROFESSORES: A EDUCAÇÃO QUE TEMOS E A EDUCAÇÃO QUE QUEREMOS.....	57
2 O BRILHO QUE INTRIGOU OS CIENTISTAS.....	67
2.1 O CAMINHAR DA DESCOBERTA DA RADIOATIVIDADE.....	67
2.2 O ELEMENTO QUÍMICO CÉSIO.....	85
2.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE QUÍMICA E A TEMÁTICA RADIOATIVIDADE: O QUE TEMOS PUBLICADO?.....	89
3 O BRILHO DA MORTE QUE ENCANTOU OS GOIANOS.....	97
4 OS CAMINHOS QUE FORAM TRILHADOS NA PESQUISA.....	119
4.1 EM BUSCA DAS INFORMAÇÕES – COLETAS DE DADOS.....	120
4.1.1 Os PPC.....	120
4.1.2 Os questionários.....	122
4.2 A ANÁLISE DOS DOCUMENTOS.....	123
5 O BRILHO QUE FALTA NO ENSINO DE QUÍMICA E NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE GOIÁS!.....	130
5.1 A FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE QUÍMICA NO ESTADO DE GOIÁS E A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA.....	130
5.1.1 Alfabetização Científica e a Formação para a Cidadania.....	131
5.1.2 Alfabetização Científica e Formação Crítica e Reflexiva.....	135
5.2 ABORDAGEM DA RADIOATIVIDADE NA FORMAÇÃO DOS PROFESSORES DE QUÍMICA.....	140
5.3 AS INFLUÊNCIAS DA FORMAÇÃO INICIAL EM RELAÇÃO A TEMÁTICA RADIOATIVIDADE NA ATUAÇÃO DOCENTE DOS PROFESSORES DE QUÍMICA DA EDUCAÇÃO BÁSICA.....	156

5.3.1	Traçando o perfil dos participantes da pesquisa.....	156
5.3.2	As influências da formação inicial em relação à temática Radioatividade na atuação docente dos professores de Química da educação básica.....	161
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	177
	REFERÊNCIAS.....	183
	APÊNDICE.....	202
	ANEXO.....	207

APRESENTAÇÃO – O DESPERTAR DA TEMÁTICA

A temática de uma pesquisa, geralmente é fruto da curiosidade/indagação/frustração/necessidade de um pesquisador em conhecer mais sobre determinado assunto. No caso desta tese, não poderia ser diferente; dessa forma, peço licença aos caros leitores para falar em primeira pessoa, e narrar os caminhos que me levaram a querer desenvolver esta pesquisa.

A minha trajetória escolar, durante a educação básica, foi toda desenvolvida em escolas públicas estaduais, tanto no interior do estado de Goiás, quanto na capital, Goiânia. Sempre gostei das áreas de exatas e biológicas, mas nunca tive o sonho de fazer um curso superior específico. Após concluir o Ensino Médio, eu resolvi prestar vestibular para o curso de Química, na Universidade Federal de Goiás (UFG), fui aprovada e iniciei o curso em 2001.

Até o terceiro ano, estava convicta de que a habilitação que eu queria era o bacharelado. No entanto, no último ano do curso, que funcionava no sistema de 3 mais 1, para fugir da disciplina de Físico-química, eu resolvi mudar de habilitação, passei para a licenciatura, e essa foi a melhor decisão que eu poderia ter tomado na minha vida, em relação a minha carreira profissional. Então, no ano de 2004, eu me formei em Licenciatura em Química, na Universidade Federal de Goiás.

Iniciei a minha carreira profissional ainda no ano de 2004, atuando como professora de Química em um curso preparatório para o vestibular, conhecido como pré-vestibular, no qual eu trabalhava com os conteúdos de Química Geral. Em 2005, iniciei o mestrado em Química, no Instituto de Química da UFG, e desenvolvi uma pesquisa sobre biopolímeros. No ano de 2006, ainda durante o mestrado, fui aprovada em um concurso para professor substituto do Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada à Educação – CEPAE/UFG.

Começa aí a mudança na minha concepção de ensino, e, nesse momento, desperta a professora que havia dentro de mim, até então ainda adormecida, mesmo já tendo atuado como docente. Até este momento eu continuava tralhando os conteúdos de Química Geral, logo, os conhecimentos adquiridos na universidade me davam o embasamento teórico de que eu precisava para planejar e desenvolver as

minhas aulas. Posteriormente, em 2007, eu comecei a trabalhar como professora do Ensino Médio, em uma escola da rede particular da região metropolitana de Goiânia, na qual os conteúdos de Química eram divididos em três áreas: Química Geral, Físico-química e Química Orgânica. Destas eu fiquei responsável, por trabalhar com a Físico-química.

Entre os conteúdos presentes na matriz curricular do Ensino Médio e classificados dentro da área da Físico-química, está a Radioatividade. Logo, não demorou para eu me ver diante de uma situação desafiadora, isto é, precisava ministrar aulas sobre o conteúdo Radioatividade. Tal situação se configura dessa forma, porque eu nunca havia estudado esse conteúdo. E por que isso aconteceu?

O meu primeiro contato com a Radioatividade deveria ter ocorrido no Ensino Médio, especificamente na 2ª série, pois, na época, o conteúdo fazia parte da matriz curricular da série. Entretanto, nesse ano, eu tive aula de Química com uma professora contratada mediante contrato temporário, mas, por ser formada em farmácia, ela passou o ano inteiro abordando apenas o conteúdo Soluções, ato este que evidencia que a referida “professora” não possuía qualificação para tal cargo, uma vez que não era licenciada em Química. Assim, ela suprimiu a minha primeira oportunidade de estudar o conteúdo Radioatividade.

Mas isso não deveria configurar nenhum problema, pois, como eu já mencionei anteriormente, sou licenciada em Química. Assim, o curso superior seria o segundo momento em minha vida em que eu deveria ter estudado Radioatividade. Mas, infelizmente, eu também não tive a oportunidade de estudar tal conteúdo, uma vez que ele não estava presente na proposta pedagógica do meu curso, logo, não fazia parte da ementa de nenhuma disciplina do curso de Química da UFG. Diante de tal problema, eu me vi obrigada a estudar em diversos livros e aprender sozinha o conteúdo, para, então, ensinar aos alunos.

É importante ressaltar que o meu curso de licenciatura ainda trabalhava com uma matriz curricular construída em 1992, defasada, pautada pelo modelo formativo conhecido como 3+1, no qual todos os alunos cursavam três anos juntos – a formação técnica -, e somente no quarto ano a turma era dividida em duas, uma com os que queriam cursar bacharelado e outra para os que queriam cursar licenciatura em Química – a formação pedagógica. Os alunos que optavam pela licenciatura cursavam

as seguintes disciplinas específicas: Psicologia da Educação, Educação Brasileira, Estrutura e Funcionamento do Ensino 1º e 2º graus e Didática e Prática de Ensino de Química. As três primeiras eram ofertadas por professores da Faculdade de Educação e apenas a disciplina Didática e Prática de Ensino de Química era ofertada pelos dois únicos professores da área de Ensino de Química do Instituto de Química da UFG, à época. Não havia, por exemplo, disciplinas específicas de estágio.

Esse número reduzido de disciplinas deixou lacunas na minha formação, uma vez que o modelo de ensino formativo 3+1 é pautado pela racionalidade técnica, com ênfase no conhecimento científico, baseado no modelo de transmissão e recepção de conteúdo, não havendo interface entre o conteúdo pedagógico e o científico. Esse modelo foi e ainda é muito criticado pelos pesquisadores da área de Ensino de Química. No entanto, esse sistema não é mais adotado no curso de licenciatura em Química da UFG, o qual conta hoje com uma matriz curricular com várias disciplinas que valorizam a formação pedagógica, como: Fundamentos Filosóficos e Sócio-Históricos da Educação, Epistemologia da Ciência, Química e Sociedade, Instrumentação para o Ensino de Química, Políticas Educacionais, Didática, Estágio de Licenciatura 1, 2, 3 e 4, dentre outras. Essa mudança curricular proporciona, de modo geral, uma melhor formação aos licenciandos, dando-lhes condições para atuar na educação básica e enfrentar os possíveis desafios da profissão docente, com exceção do conteúdo Radioatividade, como veremos no capítulo 5.

Isto posto, com minha formação, além de não ter conhecimento sobre Radioatividade, eu também não tinha conhecimento sobre o acidente radiológico ocorrido em Goiânia, em 1987, mesmo sendo goiana. Hoje, refletindo sobre essa situação, fico pensando como devem ter sido ruins aquelas aulas que eu ministrei sobre Radioatividade, considerando que foram aulas baseadas na transmissão e recepção de conteúdo, sem nenhuma problematização e discussão, pois, ao não dominar o conteúdo, eu não podia oportunizar aos alunos que me questionassem. Nessa ocasião, eu não abordei o acidente com a fonte de Césio 137, ocorrido em Goiânia, em 1987.

Desde então, o tema desperta o meu interesse e passei a me perguntar: por que não estudei tal assunto, mesmo tendo feito um curso superior em Química, na cidade de Goiânia? Será que os professores do Instituto de Química da Universidade

Federal de Goiás (UFG) não acreditavam ser importante o ensino do conteúdo Radioatividade? Mesmo que tenha ocorrido em Goiânia o maior acidente radiológico do mundo? Ou será que, assim como eu, eles também não tinham conhecimento sobre tal temática? Há ainda outra possibilidade, pois, como esse conteúdo não está indicado nas Diretrizes Curriculares Nacionais para o curso de Química, talvez tenham julgado não ser necessária à sua abordagem.

Diante do exposto, comecei a pensar que precisava estudar e pesquisar para entender essas e outras questões que permeavam o meu fazer pedagógico. E, para isso, eu poderia fazer doutorado na área de Ensino de Química. No Instituto de Química da UFG, há o doutorado em Química, contemplando a área de Ensino de Química, com pesquisadores experientes e reconhecidos por suas pesquisas em todo o país. Então, no ano de 2018, eu ingressei como discente no programa de pós-graduação em Química do Instituto de Química da UFG e escolhi trabalhar com a temática Radioatividade e a formação de professores.

Essa escolha ocorreu, também, além dos motivos supracitados, por eu entender a importância para a formação de professores de Química das discussões sobre tal temática, que envolve, além dos conteúdos científicos específicos da Radioatividade (emissões radioativas alfa, beta e gama, decaimento radioativo, tempo de meia-vida, reações de fusão e fissão, etc.), outras discussões que perpassam o desenvolvimento das ciências e suas descobertas. Do final do século XIX até meados do século XX, foram várias as contribuições de pesquisas relacionadas à Radioatividade para o conhecimento e compreensão da constituição da matéria, para a criação de radioisótopos artificiais, o que permitiu ampliar as aplicações da radiação, para o desenvolvimento de equipamentos para os mais diversos fins, como os reatores nucleares e os aparelhos de radioterapia capazes de trazer benefícios aos seres humanos, para o conhecimento mais aprofundado das características e propriedades dos radioisótopos, das questões ambientais imbricadas na contaminação do ar, solo e água por esses elementos, das consequências dos acidentes radioativos e radiológicos ocorridos no mundo, bem como os malefícios que as radiações podem trazer para os seres vivos, quando utilizada de forma incorreta, dentre outras.

Isto posto, para desenvolver a pesquisa, escolhi trabalhar com os documentos norteadores dos cursos, os Projetos Pedagógicos de Curso (PPC) de todas as IES do estado de Goiás, tanto as públicas quanto as privadas, que ofertam o curso de licenciatura em Química, bem como com questionário.

No presente estudo, propomo-nos a discutir a tese de que os cursos que formam professores de Química, no estado de Goiás, não evidenciam as relações conceituais e contextuais referentes ao acidente radiológico ocorrido em 1987, na cidade de Goiânia, e que essa lacuna formativa obstaculariza o viés de alfabetização científica, tendo como foco o tema Radioatividade, na educação básica de Goiás. Dessa forma, esta tese tem como objetivo geral discutir as relações entre a temática Radioatividade e a alfabetização científica na formação de professores de Química. Esse e outros objetivos serão melhores explicitados no final do capítulo 1, no item 1.4.

Para isso, o trabalho foi organizado em cinco capítulos, cuja estrutura apresento nos parágrafos a seguir.

O capítulo 1 traz uma revisão teórica sobre alfabetização/letramento, alfabetização/letramento científico e formação de professores. Para fins didáticos, o capítulo foi assim organizado: inicialmente, foram abordadas questões gerais sobre alfabetização, posteriormente, foram apresentadas, de forma breve, a história da origem dos termos alfabetização e letramento, bem como os principais teóricos que defendem o uso de um e de outro termo. Em seguida, refletimos com Paulo Freire sobre educação e alfabetização, autor escolhido como interlocutor teórico para embasar as discussões desta tese. No trabalho, alguns dos pressupostos freireanos serão utilizados para refazermos uma leitura do acidente radiológico, para discutirmos, por exemplo, as relações de classes, a educação, a formação do professor, bem como para defender o uso do termo alfabetização científica. Finalizamos o capítulo com uma discussão sobre formação de professores.

No capítulo 2 abordamos a descoberta da Radioatividade, os principais conceitos químicos presentes nessa temática, como radiação, emissões radioativas alfa, beta e gama, decaimento radioativo e tempo de meia-vida, efeitos das radiações no organismo, benefícios e malefícios das radiações e suas aplicações. Na sequência, abordamos questões específicas sobre o elemento Césio, suas principais características e aplicações, incluindo a utilização nos aparelhos de radioterapia,

como o que causou o acidente radiológico de Goiânia. Ao final, apresentamos uma revisão bibliográfica realizada a partir das principais revistas de Ciências e Química do Brasil, bem como de teses e dissertações do banco da Capes, mostrando as publicações que possuem o mesmo viés deste estudo, isto é, que relacionam a formação de professores à temática Radioatividade.

O capítulo 3 conta a história do acidente com a fonte de Césio 137 ocorrido em Goiânia, desde a remoção da peça do aparelho de radioterapia das ruínas da clínica, até a criação do depósito definitivo para armazenar os rejeitos oriundos do acidente, passando pela sua responsabilização criminal. Fez-se uma leitura do acontecido, por meio do referencial freireano, como forma de compreendermos as questões sociais, educacionais, científicas e políticas envolvidas. Também abordamos, de forma breve, a relação entre a falta de conhecimento científico da população, o acidente e a formação de professores.

No capítulo 4 apontamos os caminhos metodológicos percorridos na investigação, que se configura como uma pesquisa documental, desde o início com o levantamento dos dados, por meio dos projetos pedagógicos de curso (PPC), passando pela aplicação dos questionários e indo até o tratamento dos dados, por meio da Análise Textual Discursiva de Moraes e Galiazzi. Descrevemos a técnica de análise, suas etapas e a criação de duas categorias *a priori*, sendo a primeira “A formação de professores de Química no estado de Goiás e a alfabetização científica” e a segunda “Abordagem da Radioatividade na formação dos professores de Química” bem como a forma como os questionários serão analisados, a captação do novo emergente.

O capítulo 5 é dedicado à discussão dos resultados da pesquisa, a partir das duas categorias de análise criadas *a priori* e uma categoria emergente, cuja discussão se faz à luz do referencial de Freire. Inicialmente, é discutida a formação de professores e a alfabetização científica presente nos PPC. Posteriormente, é discutida a abordagem da temática Radioatividade e a formação de professores presentes nos PPC das IES do estado de Goiás e suas implicações para a formação docente. Finalizamos o capítulo com a discussão sobre a formação e a atuação docente, em relação à temática Radioatividade, por meio da captura do novo emergente, usando

como documentos balizadores as respostas obtidas com os questionários enviados aos professores de Química da educação básica, da cidade de Goiânia.

A partir das análises feitas, entendemos que há uma lacuna na formação de professores de Química, no estado de Goiás, em relação à temática Radioatividade, prejudicando o desenvolvimento da alfabetização científica e reverberando na atuação do professor.

Compreendemos que a importância deste estudo e o esforço que se fez necessário para interpretar como vem ocorrendo o processo de formação dos professores de Química nas IES do estado de Goiás, se justifica, primeiramente, pela importância de se formarem professores de Ciências que sejam alfabetizados cientificamente. Além disso, outro aspecto que justifica a pesquisa é a possibilidade de problematizar e discutir a importância da temática Radioatividade para a formação dos professores de Ciências, especificamente os de Química, do estado de Goiás.

CAPÍTULO 1 – ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA E/OU LETRAMENTO: DIÁLOGOS E TOMADA DE POSIÇÃO

Nesse capítulo será apresentada uma revisão da literatura sobre alfabetização, letramento, alfabetização/letramento científico e formação de professores. Para fins didáticos, o capítulo foi assim organizado: inicialmente serão abordadas questões gerais sobre alfabetização, posteriormente, será apresentada, de forma breve, a história da origem dos termos alfabetização e letramento, bem como os principais teóricos que defendem o uso de um ou de outro termo. Em seguida refletiremos com Paulo Freire, sobre educação e alfabetização, autor escolhido como interlocutor teórico para embasar as discussões desta tese. No trabalho, alguns dos pressupostos freireanos serão utilizados para a retomada e releitura do acidente radiológico, ao discutirmos as relações de classes imbricadas nesse evento e, além disso, a perspectiva freireana se constitui como basilar na construção de nossa argumentação e defesa do processo entendido por nós como alfabetização científica. Finalizaremos com uma discussão sobre formação de professores.

Em 25 de junho de 2014, por meio da Lei n. 13.005, foi publicado o Plano Nacional de Educação (PNE), o qual determina diretrizes, metas e estratégias para a política educacional, para o período de 2014 a 2024. Uma das diretrizes mais importantes desse plano é a erradicação do analfabetismo no Brasil, durante a sua vigência, ou seja, até 2024 (BRASIL, 2014). Para conseguir atingir esse objetivo, definiram-se várias metas a serem colocadas em prática. Desde o início do PNE, já se passaram cerca de sete anos e uma pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), denominada de Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios contínua (PNAD contínua), em sua última edição publicada, referente ao ano de 2019, mostrou que o Brasil possuía uma taxa de analfabetismo de 6,6% (11 milhões) para pessoas com idade acima de 15 anos e 18% (6 milhões) para pessoas com idade superior a 60 anos (IBGE, 2020).

A referida pesquisa mostrou, ainda, um comparativo entre os anos de 2016, 2017, 2018 e 2019 em que esses índices vêm diminuindo progressivamente. No entanto, não atingiram as metas estabelecidas pelo PNE, que projetou, ainda para 2015, a porcentagem de 6,5% de analfabetos, com idade acima de 15 anos e, em

2019, ainda tínhamos 6,6% (BRASIL, 2014; IBGE, 2020). Mesmo não tendo atingido a meta, houve redução do analfabetismo na faixa etária supracitada, o que é positivo e deve ser considerado, uma vez que essa diminuição corresponde a milhares de pessoas alfabetizadas, no Brasil, nesse período.

Mas, o que é considerado um indivíduo alfabetizado? Segundo a Política Nacional de Alfabetização, “[...] se alguém é alfabetizado significa que é capaz de decodificar ou codificar qualquer palavra em sua língua” (BRASIL, 2019, p. 19). Assim, corroboramos o entendimento de que, para uma pessoa ser considerada alfabetizada, é necessário que ela saiba ler e escrever, saiba reconhecer o alfabeto, o código. Contudo, no contexto atual, espera-se que as pessoas possuam outras capacidades, para que possam atuar e contribuir para uma sociedade mais justa e igualitária. Essa formação ampla deve ser propiciada pelas instituições de ensino, e está presente no próprio PNE, em seu artigo 2º, inciso V, que explicita que uma das diretrizes é “[...] a formação para o trabalho e para a cidadania com ênfase nos valores morais e éticos em que se fundamenta a sociedade” (BRASIL, 2014, p. 12), não ficando a formação limitada ao ato de aprender a ler e escrever.

Além disso, o inciso VII do PNE evidencia, também, que o plano prevê a “[...] promoção humanística, científica, cultural e tecnológica do País” (BRASIL, 2014, p. 13), logo, para que essa diretriz seja alcançada, é necessário que a população brasileira tenha acesso a elementos da cultura, da ciência e da tecnologia, o que pode ser propiciado, em parte, pelas instituições de ensino, de todos os níveis, desde que elas tenham condições estruturais, financeiras, físicas e de pessoal para isso.

Entendemos que, para haver essa ascensão proposta no PNE, é demandado um processo complexo, que é longo e lento, necessitando de vários anos para se concretizar, bem como de investimentos e reestruturação de vários setores, sendo um deles o educacional, pela preparação dos alunos e alunas, desde a educação básica, por meio de um ensino de qualidade, que seja pensado e articulado pelos professores e gestores, diferente do ensino que temos atualmente que ainda é, em sua maioria, baseado em transmissão e recepção de conteúdos (COELHO; MARQUES, 2007; SCHNETZLER; ANTUNES-SOUZA, 2019).

Essa preparação, pensando na promoção científica do país, uma vez que a Química é uma ciência, remonta ao século passado, em que se ampliaram os debates

sobre educação científica (SANTOS, 2007a), que pode ser feita em etapas, por meio da alfabetização científica e/ou letramento científico do indivíduo. Não há, contudo, um consenso entre os teóricos sobre esses termos, sendo que alguns os consideram diferentes e outros os tratam como sinônimos, como afirma Soares (2004, p. 7), “[...] no Brasil os conceitos de alfabetização e letramento se mesclam, se superpõem, frequentemente se confundem”.

No campo das ciências, isso pode ser explicado, em parte, em decorrência da tradução para o português do termo inglês *scientific literacy*, que ora foi traduzido como alfabetização científica e ora como letramento científico (SASSERON; CARVALHO, 2008; SANTOS, 2007b). Ainda nesse viés, segundo Laugksch (2000), a expressão *scientific literacy* é considerada controversa, uma vez que há diversos grupos interessados nesse conceito, com propósitos diferentes, como os profissionais da área de educação em ciência, cientistas sociais, sociólogos, entre outros, cada um defendendo a sua visão de alfabetização científica. É importante salientarmos que, segundo Sasseron e Carvalho (2008),

[...] no cerne das discussões levantadas pelos pesquisadores que usam um termo ou outro estão as mesmas preocupações com o ensino de Ciências, ou seja, motivos que guiam o planejamento deste ensino para a construção de benefícios práticos para as pessoas, a sociedade e o meio-ambiente (p. 334).

Salientamos que, independentemente do termo utilizado, os objetivos explicitados, ao se utilizar alfabetização ou letramento na abordagem escolar das ciências, são direcionados para um ensino de ciências com vistas a trazer benefícios aos alunos e à sociedade. De acordo com pesquisas, no Brasil, o termo alfabetização científica é mais utilizado do que o termo letramento científico (CUNHA, 2019; TAVARES, 2020). Assim, para compreender melhor as distinções e aproximações desses termos, apresentaremos uma revisão teórica, analisando o que dizem os pesquisadores que estudam esses conceitos e suas implicações para o ensino.

1.1 LETRAMENTO E LETRAMENTO CIENTÍFICO

Hoje sabemos que há diferentes conceitos de letramento e que eles mudam com a passar dos anos. No entanto, todos se originam de um ponto comum, que é o “[...] impacto social da leitura e da escrita através de seu uso em práticas sociais” (CUNHA, 2012, p. 1).

O surgimento de um termo para designar algo mais complexo, além de saber ler e escrever, ocorre em vários países ao mesmo tempo, por volta da metade dos anos 1980. No Brasil, surge o termo letramento, na França o termo *illettrisme*, em Portugal, o termo *literacia* (SOARES, 2004). No Brasil, o surgimento do termo é creditado à tradução da palavra inglesa *Literacy* que, etimologicamente, vem do latim *Littera* (letra), colocando um sufixo *cy* que denota qualidade, condição, fato de ser (SOARES, 1996). A palavra letramento foi utilizada, pela primeira vez, em português, por Mary Kato, em 1986, em seu livro intitulado “No mundo da escrita: uma perspectiva psicolinguística”, da Editora Ática (SOARES, 2004; TFOUNI; PEREIRA; ASSOLINI, 2018). Para Soares (2009, p. 17) *literacy* é

[...] o estado ou condição que assume aquele que aprende a ler e escrever. Implícita nesse conceito está a ideia de que a escrita traz consequências sociais, culturais, políticas, econômicas, cognitivas, linguísticas, quer para o grupo social que esteja introduzida, quer para o indivíduo que aprenda a usá-la.

Assim, o fato de o indivíduo não ser mais analfabeto implica uma série de questões das mais diversas áreas da sua vida, tanto individual como coletiva, questões essas que poderão contribuir para sua atuação mais consciente e crítica na sociedade.

A seguir, apresentaremos alguns autores, como Soares, Tfouni, Santos, Mamede e Zimmermann, Suisso e Galieta, que utilizam o termo letramento, alguns no campo da linguística e outros, na área de ensino de Ciências. Enfatizamos que esses pesquisadores adotam o termo letramento e/ou letramento científico para nomear um ensino que vai além de saber ler e escrever, que forma cidadãos críticos.

As autoras Magda Soares e Leda Tfouni são referências em publicações que abordam letramento no Brasil, na área da linguística. Ambas são graduadas em Letras, sendo a primeira graduada em Letras Neolatinas e a segunda graduada em Letras Anglo-Germânicas. Para Magda Soares, ser alfabetizado é diferente de ser letrado; o primeiro corresponde a quem sabe ler e escrever, já o segundo, àquele que sabe usar socialmente a leitura e a escrita. A autora defende, portanto, que não é preciso saber ler e escrever para ser letrado e, sim, ter conhecimento de vida sobre diversos assuntos, o que propicia à pessoa sua inserção na sociedade (SOARES, 2009). Segundo a autora, letramento é “[...] o resultado da ação de ensinar ou de aprender a ler e a escrever; o estado ou a condição que adquire um grupo social ou um indivíduo como consequência de ter-se apropriado da escrita” (SOARES, 2009, p. 18).

Dessa forma, podemos compreender que o termo letramento compreende práticas mais complexas e avançadas de leitura e escrita. Refere-se a algo que vai além de saber ler e escrever palavras, tornando-se necessário saber usar a leitura e a escrita nas práticas sociais e individuais, ou seja, está relacionado com quem pratica leitura e escrita. Soares (2004) defende que a alfabetização e o letramento são processos indissociáveis e interdependentes, uma vez que, ao mesmo tempo em que há a aquisição do sistema de escrita, há o desenvolvimento das habilidades de uso desse sistema, nas práticas sociais que envolvem a escrita e a leitura, ou seja, os processos são simultâneos e dever-se-ia alfabetizar letrando. Além disso, esses dois processos transformam a pessoa em vários aspectos: cultural, social, linguístico, cognitivo, entre outros (SOARES, 2004). A autora, no entanto, enfatiza que é preciso ter claro que cada um dos processos, alfabetização e letramento, tem as suas especificidades.

Soares (2009) citada anteriormente, argumenta que, ao longo dos anos, houve modificações na forma de verificar se uma pessoa é alfabetizada ou não, como, por exemplo, o Censo, que é realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), que, antes considerava alfabetizado aquele que sabia escrever e ler o seu próprio nome. Posteriormente, passou a considerar alfabetizado aquele que é capaz de escrever um bilhete simples e interpretá-lo, evidenciando uma mudança na maneira de se considerar o significado de alfabetizado, saindo da mera codificação

da língua escrita e ampliando, mesmo que modestamente, para avaliação do nível de letramento dos indivíduos (SOARES, 2009).

Soares (2009) problematiza a situação, comparando países desenvolvidos e em desenvolvimento. De acordo com a autora, os países desenvolvidos avaliam o nível de letramento - o índice daqueles que vivem o estado ou condição de quem sabe ler ou escrever - e não de alfabetização dos alunos, como ocorre no Brasil, uma vez que nesses países todos são alfabetizados, ou seja, sabem ler e escrever.

Para fazer essa avaliação do nível de letramento é utilizado, como critério, a quantidade de anos que a pessoa frequentou a escola, quatro, cinco ou mais anos, dependendo do país, uma vez que se considera que esse período é suficiente tanto para que o aluno aprenda a leitura e a escrita, quanto para aprender a fazer o uso das práticas sociais de leitura e escrita adquiridas na escola, seja na sua vida pessoal e profissional, ou em outros momentos que necessitam da língua escrita. Dessa forma, defendem que os conceitos de letramento e alfabetização são diferentes (SOARES, 2009).

Tfouni (1994) também defende o uso do termo letramento e, para a autora, esse termo surge do despertar da consciência, principalmente entre os linguistas, da necessidade de ir além da alfabetização, à compreensão de que existe algo mais amplo e que poderia ser, inclusive, determinante da alfabetização. No entanto, na busca por essa nova compreensão, ou ao encontro desse novo conceito - letramento -, os estudiosos adotaram posições diferentes, levando a uma polissemia, o que dificulta a sua definição, mesmo que, em 1988, a própria Tfouni tenha distinguido o termo alfabetização do termo letramento, no Brasil (TFOUNI, 1994).

Tfouni (1994) deixa clara a sua posição: “[...] letramento para mim é um processo, em que a natureza é sócio-histórica”. Para ela o critério central de letramento é a autoria, entendendo como autor aquele capaz de estruturar o seu discurso oral ou escrito, de forma a ser compreendido e, além disso, critica quem usa os termos alfabetização e letramento como sinônimos. Argumentando que esse é um problema de tradução do termo inglês *literacy*, assim como argumentado por outros autores, como Soares (1996).

Tfouni (1994) justifica seu posicionamento, baseando-se em três perspectivas a-históricas, a partir das quais o termo *literacy* tem sido utilizado na língua inglesa e

que podem ter levado a essa confusão em relação ao significado de *literacy*, são elas: individualista-restritiva, quando considera exclusivamente o processo de aquisição da leitura e da escrita, confundindo-se com alfabetização; tecnológica quando relaciona-se o termo *literacy* como se fosse um produto, podendo propiciar o progresso da sociedade; cognitivista, pela qual se atribui ao aluno a responsabilidade pelo processo de aquisição da leitura, pois se considera o aprendizado como produto das atividades mentais, ignorando, assim, que o letramento tem origens sociais e culturais.

Essas três perspectivas, no entanto, estão relacionadas com a aquisição da escrita e da leitura, pois Tfouni (1994) afirma que “[...] não importa a perspectiva: a ênfase é sempre colocada nas práticas, habilidades, conhecimentos, voltados sempre para a codificação/decodificação de textos escritos” (TFOUNI, 1994, p. 51).

A autora discute, por meio de exemplos, que ser alfabetizado não significa ser letrado e também que para ser letrado, não precisa ser alfabetizado. Para o primeiro caso, ela cita como exemplo textos escritos por duas pessoas, sendo uma, com nível superior incompleto e outra, com nível superior completo, mostrando que ambas não conseguem se colocar como “[...] autores do próprio discurso” (TFOUNI, 1994, p. 56), ou seja, não conseguem planejar o que vão escrever e fazer uma escrita que apresente coerência, e para a autora, o letramento enquanto processo sócio-histórico tem como eixo o autor. No segundo caso, Tfouni (1994) usa o exemplo de uma contadora de histórias analfabeta, que possui um discurso oral repleto de características do discurso escrito, mostrando que não é preciso saber ler e escrever, ou seja, dominar os códigos da linguagem, para ser um autor do discurso.

A autora supracitada discute, também, que existem níveis de letramento e níveis de alfabetização, sendo que o aluno pode estar em posições diferentes dentro desses níveis, estando mais avançado em um deles, por exemplo (TFOUNI, 1994).

O termo letramento é tão complexo que não há consenso entre os próprios autores que defendem o seu uso. As autoras Tfouni, Monte-Serrat e Martha (2013) criticam a visão de letramento de Magda Soares descrita em seu livro *Letramento e Escolarização* (2003), alegando que a autora tem uma visão a-histórica de letramento, e que fica presa ao significado dicionarizado da palavra letrado, deixando assim, de considerar que letramento é um processo sócio-histórico. Essa crítica direcionada a

Magda Soares é justificada pela importância dessa autora em pesquisas e publicações sobre letramento.

Na área da Química, um dos autores mais importantes que discute o letramento científico é Wildson Santos. Santos (2002) argumenta, assim como as autoras da linguística, que não há consenso da comunidade científica em relação ao conceito de letramento científico e tecnológico, e que isso ocorre devido a dois fatores: por ser um conceito amplo que depende do contexto histórico em que é proposto e por ser influenciado por pressupostos filosóficos e ideológicos. Assim, cada um defende e justifica o uso do termo letramento científico, utilizando argumentos diferentes, de acordo com os objetivos pretendidos e sua área de pesquisa (SANTOS, 2006; 2008).

Segundo Santos (2006, p. 612) “[...] as diversas visões sobre a concepção de letramento científico implicam em modelos curriculares com ênfases em diferentes conteúdos”. No entanto, o autor enfatiza que, mesmo havendo diferença nos currículos, o letramento científico sempre esteve vinculado “[...] à formação para a cidadania, incorporando argumentos democráticos e de implicações sociais” (SANTOS, 2002, p. 24). Assim, ratificando, mesmo que não haja consenso entre os autores sobre o conceito, os objetivos pretendidos com esse tipo de ensino são os mesmos, sendo de considerável importância para a vida no mundo atual, de tantas transformações científicas e tecnológicas.

Para Santos (2002, p. 39),

[...] letramento em ciência e tecnologia seria o estado ou condição de quem não apenas reconhece a linguagem científica e entende alguns de seus princípios básicos, mas cultiva e exerce práticas sociais que usam o conhecimento científico e tecnológico. Esse seria o objetivo do LCT com o propósito de formar o cidadão (SANTOS, 2002, p. 39).

Com essas características, o letramento científico e tecnológico seria diferente daquilo que Santos (2006) considera ser alfabetização científica e tecnológica, que estaria relacionada a um processo mecânico e descontextualizado no ambiente escolar, por exemplo, com a resolução de exercícios envolvendo ciência e tecnologia sem ter o aluno, no entanto, a compreensão ampla dos conceitos envolvidos (SANTOS, 2006).

Dessa forma, Santos (2002) se aproxima de Soares (2009), tanto em relação ao termo letramento, quanto em relação à alfabetização. O primeiro, ao defender o uso do termo letramento, também justifica a sua adoção, considerando a função social da educação científica. Para a segunda autora, o termo alfabetização corresponde apenas à ação de ler e escrever, o conhecimento da linguagem, neste caso da linguagem das ciências, um processo mecânico, que não leva em consideração a aplicação e a compreensão do que foi estudado. Nessa visão, uma pessoa pode conhecer o alfabeto, conhecer a linguagem científica e, no entanto, não saber utilizá-los adequadamente nas suas práticas sociais.

Santos afirma, também, que há uma aproximação conceitual de sua definição de letramento científico com a definição de alfabetização científica de Chassot (2000) (SANTOS, 2007a), pois ambas falam do uso do conhecimento científico em práticas sociais. Entendemos também que Santos (2002), Soares (2009) e Tfouni (1994) se aproximam, em termos da visão geral de letramento.

Mamede e Zimmermann (2005) também utilizam o termo letramento científico e afirmam que essa utilização, no ensino de ciências, amplia as possibilidades de discussão das práticas efetivas e dos objetivos do ensino, mas alertam para a necessidade de cautela para não banalizar o uso do termo. As autoras ainda afirmam que ambos os termos, letramento científico e alfabetização científica, estão sendo utilizados para justificar um ensino capaz de preparar o indivíduo para a vida na sociedade atual, em relação às questões científicas e tecnológicas (MAMEDE; ZIMMERMANN, 2005).

Suisso e Galieta (2015), em seu trabalho sobre a relação entre escrita/leitura e alfabetização científica/letramento científico, ao analisarem 21 artigos publicados sobre o tema, deixam claro que adotam o termo letramento científico, o qual para as autoras tem o sentido de enfatizar uma preocupação “[...] com aspectos sociais da ciência, com o conhecimento científico em uso, com uma educação científica humanística, que almeja a transformação da realidade social, e não apenas a reprodução dela” (SUISSO; GALIETA, 2015, p. 1006). As referidas teóricas reconhecem que alguns autores que adotam o uso do termo alfabetização científica também estão preocupados com questões sociais. Criticam o fato de não haver uma

problematização teórica dos conceitos de alfabetização científica/letramento científico nos trabalhos analisados.

Assim, fica evidente que, independentemente da área de formação e atuação dos pesquisadores, as concepções de letramento e letramento científico possuem o mesmo viés, estando relacionadas, como já dito, com as práticas sociais da leitura e da escrita. Veremos, a seguir, o que argumentam os autores que defendem e utilizam o uso do termo alfabetização científica.

1.2 ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA

A palavra alfabetização tem a mesma origem da palavra letramento, que é a tradução da palavra inglesa *literacy*. Antes de falarmos especificamente dos teóricos que abordam o tema, vamos retomar a discussão iniciada anteriormente sobre o surgimento do termo Alfabetização Científica. O primeiro autor a utilizá-lo foi Paul Hurd, em 1958, defendendo a ideia de que o ensino de ciências deveria levar em consideração o cotidiano do aluno e ser pautado por tal conhecimento (HURD, 1998). Hurd utiliza o termo quando está discutindo a situação da educação científica ofertada à época, nos Estados Unidos da América, a seus alunos, principalmente os da educação básica. Ele deixa claro que é necessário um currículo que dê conta das transformações rápidas da ciência e da tecnologia, preparando os jovens para essa nova sociedade que está posta para o futuro e sem esquecer do passado, ou seja, da história da humanidade (HURD, 1998).

O autor argumenta também que é necessário que, com o conhecimento científico adquirido, os alunos estejam preparados para atuar de forma efetiva em questões sociais, econômicas, políticas e sociais, ou seja, é preciso formar cidadãos (HURD, 1958). Segundo Hurd (1998, p. 409) “[...] as noções de alfabetização científica devem ser incorporadas em contextos que promovam um cidadão socialmente responsável e competente” (tradução nossa). Dessa forma, Hurd defendeu, desde a década de 1950, um ensino capaz de formar cidadãos, e, hoje, mais de meio século depois, ainda se discute a formação científica que os alunos estão recebendo.

Segundo Cunha (2019), os artigos mais citados de autores brasileiros sobre alfabetização científica são dos autores Sasseron e Carvalho (2008), Penick (1998), Brandi e Gurgel (2002), Lorenzetti e Delizoicov (2001) e Chassot (2003) (CUNHA, 2019). A seguir serão abordados alguns autores citados por Cunha e outros que também adotam o termo alfabetização científica.

Para Sasseron (2008), alfabetização científica é um processo em permanente desenvolvimento, o qual possibilita aos alunos ter capacidade de discutir temas relacionados à ciência que estão presentes em suas vidas e as influenciam, bem como a sociedade em que eles vivem, além de trazer consequências ao meio ambiente. Sasseron (2008) justifica a escolha do termo alfabetização científica baseando-se nas obras de Paulo Freire, o qual, segundo a autora, defende que a alfabetização implica numa autoformação, propiciando ao homem capacidade de interferir criticamente no seu contexto (SASSERON, 2008).

A autora defende que há três eixos estruturantes da Alfabetização Científica: o primeiro refere-se à compreensão básica dos termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais; o segundo preocupa-se com a compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam a sua prática e o terceiro compreende o entendimento das relações existentes entre ciência, tecnologia, sociedade e meio-ambiente (SASSERON; CARVALHO, 2008). Assim, se o ensino de ciências se basear nesses eixos estruturantes, é muito provável que os alunos tenham uma alfabetização científica durante a sua educação básica, pois eles terão a oportunidade de explorar diversos aspectos entre ciência e a vida.

Chassot (2018) também defende o uso do termo alfabetização científica para uma educação capaz de propiciar aos alunos condições para atuar no mundo e transformá-lo. O autor compreende que a ciência é uma linguagem que facilita a leitura do mundo, assim, para ele, “Alfabetização Científica é o conjunto de conhecimentos que facilitariam aos homens e mulheres fazer uma leitura do mundo onde vivem e [...] também que eles entendessem as necessidades de transformá-lo, e transformá-lo para melhor” (CHASSOT, 2018, p. 84).

Chassot defende também que é difícil fazer a verificação do número de homens e mulheres que são alfabetizados cientificamente, mas que é necessário que todos conheçam um pouco de ciências para entender o mundo que os cerca e facilitar

algumas vivências e que o *lócus* para realizar a alfabetização científica é a educação básica. Para que seja possível essa alfabetização, o autor argumenta que é fundamental a participação dos professores e professoras desse nível de ensino, uma vez que um dos eixos de condução do processo da alfabetização científica é um currículo diferenciado, com escolha criteriosa dos conteúdos e da forma como eles serão trabalhados com os alunos, para que realmente sejam formados cidadãos e cidadãs críticos e atuantes na sociedade (CHASSOT, 2018).

Falando especificamente do conhecimento químico, Chassot diz que a abordagem desses conhecimentos deve ser encharcada na realidade e deve-se “[...] ensinar a química dentro de uma concepção que destaque o seu papel social, mediante a contextualização social, política, filosófica, histórica, econômica e (também) religiosa” (CHASSOT, 2018, p. 97). Assim, o autor enfatiza novamente, que para se promover a alfabetização científica do educando, é necessário levar em consideração diversos aspectos da sua vida e da vida em sociedade, os quais são considerados por muitas pessoas como externos à sala de aula, sendo menosprezados no processo educacional.

Teixeira (2013) faz um levantamento histórico do uso dos termos alfabetização e letramento, na área da Linguística, e do uso dos termos alfabetização científica e letramento científico na área das Ciências. Na primeira área, a autora diz que cada um tem a sua especificidade e sentidos diferentes, já na segunda, muitas vezes são considerados a mesma coisa “[...] demarca-se que, na área da linguagem, alfabetizar e letrar têm, cada um, suas especificidades e, diferentemente do que vem acontecendo na área do ensino das ciências, não são considerados a mesma coisa” (TEIXEIRA, 2013, p. 796). A autora defende o uso do termo alfabetização científica e diz que pensar sobre alfabetização científica é

[...] pensar sobre as funções da educação científica, qual o seu papel, onde ela acontece e de que formas; é em última instância, pensar sobre o que é educação científica, o que se pretende com tal educação, de que forma podemos alcançá-la e quais os modos pelos quais podemos avaliar se, de fato, os objetivos almejados foram alcançados (TEIXEIRA, 2013, p. 796).

Dessa forma, Teixeira problematiza as questões que são importantes, quando se pensa no ensino de ciências, que vão muito além da escolha de um termo ou de outro, e que podem efetivamente mudar o ensino que está posto atualmente. A partir desses questionamentos, a autora busca compreender o que vem a ser alfabetização científica a partir da tradução do termo *scientific literacy*, argumentando que “[...] alfabetização científica diz respeito a tudo aquilo que envolve a escrita e a leitura de textos científicos, como a construção de entendimento e a análise das informações” (TEIXEIRA, 2013, p. 795) e que a alfabetização científica e a alfabetização na própria língua estão atreladas.

A autora deixa claro também, que, segundo a sua interpretação, o termo *scientific literacy* conota que aprender ciências deveria ser tão importante quanto é considerado aprender a ler e a escrever, e que esse aprendizado deveria ser levado para toda a população, propiciando, assim, aos indivíduos uma melhor qualidade de vida, além de contribuir para sua atuação profissional, seja em atividades intelectuais ou mecânicas, bem como na sua atuação consciente e crítica na sociedade.

Lorenzetti e Delizoicov (2001) discutem alfabetização científica nas séries iniciais e defendem que é possível alfabetizar cientificamente as crianças, mesmo antes de elas saberem ler e escrever. Os autores compreendem que alfabetização científica nas séries iniciais é “[...] o processo pelo qual a linguagem das Ciências Naturais adquire significados, constituindo-se um meio para o indivíduo ampliar o seu universo de conhecimento, a sua cultura, como cidadão inserido na sociedade” (LORENZETTI; DELIZOICOV, 2001, p. 53).

Os pesquisadores enfatizam também que, nos dias atuais, é necessário elevar o nível público de compreensão da Ciência por questões de sobrevivência do homem na sociedade. Para eles a escola não é sozinha o *lócus* para o desenvolvimento da alfabetização científica e é preciso que os estudantes tenham contato com outros lugares, como museus, zoológicos e parques, ferramentas como computador, internet e livros literários, os quais podem ser apropriados pela escola por meio de atividades pedagógicas diversificadas.

Outros autores ampliam a discussão e abordam a tecnologia juntamente com a Alfabetização Científica, denominando-a de Alfabetização Científico-Tecnológica (ACT). É o caso dos autores Auler e Delizoicov (2001) que discutem a Alfabetização

Científico-Tecnológica (ACT) sob duas perspectivas, reducionista e ampliada. Na perspectiva reducionista, a ciência é considerada neutra, o foco é no ensino de conceitos, na compreensão apenas técnica da ciência e da tecnologia, deixando de considerar os aspectos sociais. Os autores criticam os mitos - falta de reflexão crítica - relacionados a essa compreensão, que, segundo eles, são: “[...] superioridade do modelo de decisões tecnocratas, perspectivas salvacionistas da Ciência-Tecnologia e o determinismo tecnológico; e que estão ligados a uma visão neutra da ciência” (AULER; DELIZOICOV, 2001, p. 123).

Em relação à discussão sobre a perspectiva ampliada, uma visão progressista do ensino, os autores utilizam a relação entre Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) e argumentam que um dos meios para se compreender temas socialmente relevantes, relaciona-se aos conteúdos, conforme defende Paulo Freire. Assim, os autores sintetizam que concebem “ACT ampliada como a busca da compreensão sobre as interações entre Ciência-Tecnologia-Sociedade [...] o ensino de conceitos associado ao desvelamento de mitos vinculados à CT” (AULER; DELIZOICOV, 2001, p. 131). Dessa forma, apesar de o foco ser na alfabetização científico-tecnológica, o cidadão deve ser capaz de usar a tecnologia, bem como de participar criticamente de decisões que envolvam esse foco.

Em âmbito internacional, um dos nomes mais importantes no estudo sobre alfabetização científica é Jon D. Miller. Segundo ele, a alfabetização científica é “[...] um desses termos que é frequentemente usado, mas raramente definido” (tradução nossa) (MILLER, 1983, p. 29) e isso gera alguns problemas relacionados ao significado de tal termo que, de acordo com o autor, pode ser interpretado de duas formas, sendo a primeira como alfabetizado e a segunda como “[...] capacidade do indivíduo de ler, compreender e expressar uma opinião sobre assuntos científicos” (tradução nossa) (MILLER, 1983, p. 30).

Miller afirma que há três dimensões a serem consideradas para avaliar se as pessoas são alfabetizadas cientificamente: é necessário que as pessoas tenham compreensão das normas da ciência, conheçam as principais construções científicas e sejam conscientes dos possíveis impactos que a ciência e a tecnologia podem ocasionar na sociedade. A partir disso, as pessoas com esses domínios seriam

capazes de fazer escolhas conscientes relacionadas a ciência e tecnologia, durante a sua vida, pois seriam alfabetizadas cientificamente.

Mas, para que isso ocorra, é necessário que a comunidade científica possibilite que o conhecimento científico chegue à população de uma forma que possa ser compreendido por todos (MILLER, 1983). Nas décadas de 1950 e 1960, nos Estados Unidos da América, foram utilizados testes padronizados para medir o conhecimento científico dos alunos e eles mostraram que o conhecimento dos alunos era baixo. Testes subsequentes foram realizados e, no final da década de 1970, chegou-se à conclusão de que o cenário não era muito diferente das décadas anteriores em relação à alfabetização científica da população, mesmo entre aqueles que possuíam diploma de pós-graduação.

Penick (1998) discute várias abordagens dadas ao termo alfabetização científica, ao longo dos anos. Dentre elas, temos a dificuldade de definir esse termo, a crítica de vários autores que alegam que o objetivo da alfabetização científica é desnecessário ou impossível, bem como as possíveis soluções para os problemas encontrados, como as várias sugestões de aperfeiçoamento da alfabetização científica presentes na literatura. O autor defende que, apesar de todas as controvérsias sobre a alfabetização científica, “[...] é evidente que necessitamos de alunos que sejam conhecedores e auto-confiantes no estudo das ciências e que as apreciem” (PENICK, 1998, p. 97).

Além disso, o autor lista uma série de características que uma pessoa alfabetizada cientificamente deve possuir. Em síntese, ele não só aponta os problemas em relação à visão de alfabetização científica, como faz também o anúncio de como atingir as metas de uma alfabetização científica considerando o aluno, o professor e a escola.

Analisando as posições dos pesquisadores, descritas anteriormente, fica evidente que há uma concordância entre eles de que a problemática do uso dos termos letramento e alfabetização foi gerada pela sua tradução para o português. Nota-se também que, na área da linguística, há uma compreensão distinta do que vem a ser letramento e alfabetização. Já na área das ciências, parece não haver uma separação tão clara assim dos termos, uma vez que a essência é a mesma, ou seja, um ensino que propicie aos alunos condições de utilizar os conhecimentos científicos

para compreender questões sociais e ser capaz de interferir na sociedade de forma crítica e reflexiva. Entendemos que todas as defesas e argumentações giram em torno de um ensino capaz de propiciar a formação de cidadãos, o que para nós é o ideal, considerando a sociedade dinâmica em que nós vivemos.

Na perspectiva da formação para a cidadania, outro autor de suma importância para a discussão, no âmbito da educação, é Paulo Freire. A seguir, faremos uma breve abordagem sobre sua vida, para em seguida, discutirmos algumas de suas ideias que serão utilizadas nesta tese, como: as relações de classe, a sua concepção de homem, de educação e de alfabetização, pois as ideias freireanas são basilares para as argumentações que se desenham no percurso deste estudo.

1.3 PAULO FREIRE E UMA LEITURA DO MUNDO

No sentido de dar mais clareza à compreensão da análise a ser realizada na tese, apresentaremos alguns dos principais conceitos relacionados a Paulo Freire e, depois, discutiremos a centralidade das discussões que se referem às relações tecidas por Freire sobre a Alfabetização.

1.3.1 Para compreender Paulo Freire

Em 19 setembro de 1921, nascia no Nordeste do Brasil, especificamente em Recife, Pernambuco, aquele que se tornaria um dos nomes mais importantes da área da educação, tanto no Brasil quanto no mundo, Paulo Reglus Neves Freire. Paulo Freire aprendeu, desde pequeno, a importância de Deus, do amor, do diálogo e do respeito para com as outras pessoas. Sua infância e adolescência foram marcadas por mudanças: mudou de cidade, de vida e de classe social, saiu de uma vida confortável em Recife para uma vida difícil em Jaboatão dos Guararapes, onde chegou a passar fome. Perdeu seu pai precocemente, o que dificultou ainda mais a sua vida e de sua família e, ainda adolescente, Freire, precisou trabalhar para ajudar

no sustento da família. Seu primeiro emprego foi, justamente, como professor de Língua Portuguesa, uma de suas paixões (FREIRE, 1995).

Freire casou-se aos 23 anos com Elza Maia Costa de Oliveira e juntos tiveram cinco filhos, sendo três meninas e dois meninos; ela, que também era professora, veio para somar na sua vida, tanto pessoal, quanto profissional, uma vez que eles compartilhavam dos mesmos ideais e, nas palavras de Freire, “[...] foi a partir do casamento que comecei a me preocupar sistematicamente com problemas educacionais” (FREIRE, 1980, p. 15). Não demorou muito e Freire começou a trabalhar no Serviço Social da Indústria (SESI), local onde pôde comprovar a sua vocação para a docência, o seu amor pelo próximo, pelos oprimidos, se reafirmou como professor e homem que luta pela igualdade de oportunidades e de direitos, sempre em defesa da classe popular.

No SESI, Freire desenvolveu uma nova forma de alfabetizar adultos, que ficou conhecida como “Método Paulo Freire”, através do qual ele conseguiu alfabetizar, na cidade de Angicos, Rio Grande do Norte, 300 trabalhadores, em 45 dias. Sua proposta de ensino para a alfabetização de adultos foi idealizada pensando na realidade do educando, no seu contexto; assim, os conteúdos ensinados partiam de levantamentos feitos com os próprios alfabetizandos (FREIRE, 1980).

O método era constituído de cinco fases: a descoberta do universo vocabular, ou seja, das palavras mais utilizadas pelas pessoas que se pretendia alfabetizar e que tinham sentido existencial; a seleção de palavras, dentro do universo vocabular, ou seja, a escolha de palavras que atendessem a alguns critérios, como: riqueza silábica, dificuldades fonéticas e que estivessem mais relacionadas à realidade de fato; a criação de situações existenciais típicas do grupo com o qual se trabalha, podendo uma palavra geradora referir-se a apenas um elemento ou mesmo englobar situações mais complexas; a elaboração das fichas indicadoras e a elaboração de fichas nas quais as famílias fonéticas correspondem às palavras geradoras (FREIRE, 1980).

Esse método, ou essa nova proposta para alfabetizar adultos, seria aplicada em todo o território brasileiro, a partir de 1964, por meio de uma parceria de Paulo Freire com o Governo Federal, em que se pretendia alfabetizar cerca de dois milhões de brasileiros em um ano. Infelizmente, com o golpe militar, o projeto foi interrompido, todo o material confeccionado foi destruído e Paulo Freire foi preso por 70 dias,

acusado de “subversivo internacional” (FREIRE, 1980). Pouco tempo depois de ser solto, com receio de ser preso novamente, Freire se refugiou na embaixada da Bolívia e deixou o Brasil na condição de exilado.

Tanto no exílio, quanto após o retorno ao Brasil, o que só ocorreu em 1980, Paulo Freire, trabalhou incansavelmente em suas aulas, seminários, palestras, cursos e livros, para defender melhores condições de educação e de vida para a população de baixa renda, denunciando e criticando o sistema de ensino e a separação nefasta de classes presente na sociedade, bem como mostrando os caminhos possíveis para a transformação do homem e da sociedade. Paulo Freire sempre se dedicou a pensar a existência humana; para ele o homem é o único ser capaz de transformar a sua realidade, mudar a sua relação com o mundo e com os outros.

Freire, ao falar sobre as classes sociais, dividiu a sociedade em dois grupos, o dos opressores e o dos oprimidos. O primeiro grupo, os opressores, é formado pela elite detentora do poder, composta por pessoas que se julgam superiores, comprometidas somente consigo mesmas, “[...] que pensam primeiro em si, segundo em si e nunca nos outros, sobretudo se estes pertencem às classes populares” (FREIRE, 1995, p. 50). Pessoas que oprimem, manipulam, acreditam que só eles são sujeitos e, por isso, enxergam as outras pessoas como objetos, como coisas, como seres incapazes de pertencer ao seu mundo, mundo considerado por eles como o bom, o ideal, o que é almejado por todos, inclusive pelos oprimidos (FREIRE, 2011a).

No entanto, o que se tem na verdade, é um mundo necrófilo, que trabalha para matar as possibilidades de mudanças, matar o desenvolvimento do pensamento crítico do oprimido, para que ele não tenha consciência de que a situação em que se encontra não se justifica porque “Deus quis”, e sim, um projeto dos opressores muito bem planejado e articulado, para mantê-los nessa condição. Dessa forma, os opressores não se sentirão ameaçados e essa divisão de classes consegue se perpetuar por gerações. Além disso, outra característica desumana dos opressores é que eles são materialistas, acreditam que tudo pode ser transformado por seu poder de compra; para eles, “O dinheiro é a medida de todas as coisas. E o lucro, seu objetivo principal” logo, pensam que “[...] ter é condição para ser [...]” (FREIRE, 2011a, p. 63), inclusive à custa de se piorarem, cada vez mais, as condições de vida dos oprimidos.

Já o segundo grupo, os oprimidos, é composto por pessoas humildes, de baixa renda, marginalizadas pela sociedade, com pouca ou nenhuma instrução, que mal frequentaram a escola, ou são analfabetas, ingênuas em relação a não perceberem, na maioria das vezes, a sua situação de oprimido. Além disso, não se enxergam como pessoas capazes de mudar a sua condição de vida e, inclusive, acreditam que precisam do opressor para sobreviver, são dependentes deles. Os oprimidos são vistos como mão de obra pelos opressores e, historicamente, são explorados por eles.

Isto posto, o ponto de partida para mudar a dicotomia opressor-oprimido, segundo Freire, é a compreensão por parte dos oprimidos de que o homem é um ser inacabado e, por isso mesmo, capaz de aprender, refletir, investigar, mudar e transformar a sua realidade e a sociedade em que vive. É um ser da práxis (ação-reflexão-ação). Mas, para isso, é fundamental que o homem seja consciente do seu inacabamento, uma vez que “[...] a conscientização é o olhar mais crítico possível da realidade, que a des-vela para conhecê-la e para conhecer os mitos que enganam e que ajudam a manter a realidade da estrutura dominante” (FREIRE, 1980, p. 29).

No entanto, essa conscientização não ocorre da noite para o dia, e muito menos, como uma iluminação divina, assim é necessário todo um trabalho, que é lento e longo, para conduzir as pessoas a esse processo de conscientização, uma vez que ele “[...] implica, pois, que ultrapassemos a esfera espontânea de apreensão da realidade, para chegarmos a uma esfera crítica [...]” (FREIRE, 1980, p. 26). E uma das áreas que apresenta potencial e pode contribuir tanto com a superação da contradição opressor-oprimido, quanto com a conscientização, segundo Freire, é a educação.

Para Freire, a educação é um processo exclusivo dos homens e das mulheres, somente eles são capazes de se educar, pois são seres inacabados e por isso “[...] seres da transformação e não da adaptação” (FREIRE, 1995, p. 23). Mas, não é qualquer educação, deve ser aquela que seja capaz de libertar o oprimido, que o tire da situação de objeto e o passe para a posição de sujeito, denominada por Freire de educação problematizadora.

E, para discutir sua concepção de educação, Paulo Freire a divide em educação Bancária e Problematizadora. Segundo o autor, a educação bancária, a qual ele critica, mantém o educando na posição de objeto, de oprimido, sendo

explorado por uma sociedade elitizada e opressora, e lista algumas das características desse tipo de educação, na qual

a) o educador é o que educa; os educandos, os que são educados; b) o educador é o que sabe; os educandos, os que não sabem; c) o educador é o que pensa; os educandos, os pensados; d) o educador é o que diz a palavra; os educandos os que a escutam docilmente; e) o educador é o que disciplina; os educandos, os disciplinados; f) o educador é o que opta e prescreve sua opção; os educandos, os que seguem a prescrição; g) o educador é o que atua; os educandos os que têm a ilusão de que atuam, na atuação do educador; h) o educador escolhe o conteúdo programático; os educandos, jamais ouvidos nesta escolha, se acomodam a ele; i) o educador identifica a autoridade do saber com sua autoridade funcional, que opõe antagonicamente à libertação dos educandos; estes devem adaptar-se às determinações daqueles; j) o educador, finalmente, é o sujeito do processo; os educandos, meros objetos (FREIRE, 2011a, p. 82 e 83).

Com essas características, a educação bancária reforça a condição de objeto do educando, estabelecendo uma relação vertical entre educando e educador, na qual não há nenhuma participação efetiva do educando no desenvolvimento do processo educativo; ele é visto como um depósito de conteúdos que não tem nada a contribuir e oferecer no processo educativo. Através desse tipo de ensino, se mantém a relação de opressor e oprimido discutida e criticada por Paulo Freire, em que o primeiro é o detentor do conhecimento, o qualificado, aquele que muito sabe, e o segundo, um mero receptor vazio, ingênuo, que nada sabe e que não tem nada para contribuir. Segundo Freire, a educação bancária serve à elite dominante, uma vez que o currículo e os conteúdos programáticos são pensados para manter a dominação e são descontextualizados da realidade dos oprimidos. Através dessa educação se mantém a relação necrófila opressor e oprimido que impede que este último se enxergue como tal e busque formas de se transformar e transformar o seu meio social (FREIRE, 2011a).

Antagonicamente, tem-se a educação Problematizadora, libertadora, na qual, de acordo com Freire, os educandos são sujeitos do processo, são vistos como pessoas, não como objetos, capazes de contribuir e construir o seu processo de aprendizagem em conjunto com o educador, numa relação pautada pelo respeito, amor, esperança e principalmente pelo diálogo (FREIRE, 2011a). Para Freire o diálogo “[...] é uma relação horizontal de A com B” (FREIRE, 2006a, p. 68), ou seja, educador e educando estão no mesmo nível, um não é melhor que o outro, são

apenas diferentes; o autor defende também que somente através do diálogo há comunicação, sendo esta fundamental para a educação.

Na educação problematizadora, são dadas as condições para que o educando se reconheça como oprimido, bem como propicia o despertar dele sobre a necessidade de busca e de transformação individual e coletiva, em prol de uma sociedade mais justa e igualitária, visto que formar para Freire “[...] é muito mais do que puramente treinar o educando” (FREIRE, 2011b, p. 16). Nessa educação “[...] os homens se educam em comunhão, mediatizados pelo mundo” (FREIRE, 2011a, p. 96), mundo esse que é fundamental para a educação libertadora, uma vez que cada sujeito tem o seu particular, com características e peculiaridades que devem ser consideradas no processo educativo, pois educadores e educandos fazem parte e são protagonistas do mesmo processo, logo, a educação deve ter sentido para ambos.

Para que essa educação problematizadora ocorra, nas palavras de Freire (1980),

É preciso que a educação esteja – em seu conteúdo, em seus programas e em seus métodos - adaptada ao fim que se persegue: permitir ao homem chegar a ser sujeito, construir-se como pessoa, transformar o mundo, estabelecer com os outros homens relações de reciprocidade, fazer a cultura e a história (FREIRE, 1980, p. 39).

É importante ressaltar que, para conseguir alcançar esse fim que se persegue, a educação defendida por Freire pode ocorrer tanto nas instituições de ensino, por meio da educação formal, em todos os seus níveis, como também por meio da educação não formal que ocorre em outras instituições, como nos sindicatos, nas igrejas, nas associações, entre outras, desde que, ela seja conduzida pelo viés da educação libertadora.

Freire e Shor (1986) defendem a pedagogia situada como uma das formas de se praticar uma educação libertadora e estimular a participação dos alunos e, por meio dela é possível “[...] situar o processo de aprendizagem nas condições reais de cada grupo” (FREIRE; SHOR, 1986, p. 23). Para isso, o professor deve descobrir juntamente com os alunos “[...] os temas mais prementes à sua percepção subjetiva” (FREIRE; SHOR, 1986, p. 68), pois eles dão motivação aos alunos e oportunizam se

distanciarem do tema para refletir sobre ele. No entanto, não basta descobrir, é preciso que estes temas subjetivos “[...] ainda não tenham sido analisados pelos alunos” (FREIRE; SHOR, 1986, p. 68); isso é importante para que se possa transcender o tema e não endossá-lo. E essa descoberta dos temas deve ser feita por meio do estímulo à participação dos alunos, permitindo ao professor ouvir deles as suas realidades, o que ocorre de concreto nas suas vidas.

Dessa forma, o professor faz o caminho inverso daquele da educação bancária; primeiro, escuta os alunos, conhece a realidade de sua sala de aula e depois, pensa e planeja como irá trabalhar os conceitos, a partir do que ouviu, de modo a relacionar o conteúdo programático e a realidade dos alunos. Buscando fazer assim, uma discussão crítica, trazendo outro olhar ao objeto de estudo, reexaminando-o, de forma a fazer sentido para os alunos e capacitando-os a compreender e transcender a sua realidade.

Nesse processo, segundo Freire, o diálogo é basilar, pois é essencial nas relações humanas, criando momentos de comunicação democrática, principalmente na relação professor e alunos, logo, o diálogo é muito mais do que uma conversa, é um momento de construir conhecimento, de trocar saberes, “Através do diálogo, refletimos juntos sobre o que sabemos e não sabemos, podemos, a seguir, atuar criticamente para transformar a realidade” (FREIRE; SHOR, 1986, p. 65). E, nessa reflexão, o professor tem a oportunidade de conhecer sobre o que os alunos sabem, o seu saber de experiência feito, que é muito importante no processo do ensino e aprendizagem de uma educação libertadora.

Nessa perspectiva, não seria adequado, então, que o professor construa antecipadamente, um planejamento fechado, um padrão, pois o que funciona com uma turma, pode não funcionar para outras turmas, cada grupo de alunos é diferente, possui suas próprias realidades, o que exige do professor intervenções também diferentes, nova compreensão das realidades, das linguagens e do mundo desses alunos. E isso deve estar presente no planejamento de suas aulas.

Enfim, Freire pensa o homem como ser capaz de transformar o mundo a seu redor, mundo este criado pelos próprios homens, mas que serve sempre aos interesses de uma pequena minoria privilegiada. Para ele, a educação é um dos caminhos possíveis para essa transformação e, em suas obras, em meio a tramas

conceituais, Freire vai entrelaçando suas ideias, buscando mostrar sempre os dois lados da moeda, numa relação de classes e apontando as condições necessárias para a superação e a compreensão do homem como um ser no mundo e com o mundo.

A partir do exposto, entendemos que as ideias de Freire são capazes de trazer significativas contribuições para pesquisas na área de ensino, pois ainda hoje se discutem várias características sociais e educacionais apontadas por ele. Dessa forma, entendemos que suas obras ainda são atuais, mesmo tendo sido escritas há décadas e parecem retratar, em alguns pontos, a sociedade do século XXI. Isso nos mostra que, mesmo com toda a evolução que tivemos, a sociedade ainda possui certas características de meio século atrás. Agora que já conhecemos um pouco sobre Freire e algumas de suas teorias, vamos discutir a sua concepção de alfabetização.

1.3.2 A concepção de Paulo Freire sobre alfabetização

Alguns dos autores discutidos no item 1.2, como Soares (2009) e Santos (2007a), utilizam Paulo Freire para justificar a adoção do termo letramento e um ensino voltado para as práticas sociais. Já Sasseron (2008) se embasa em Paulo Freire para justificar o uso do termo Alfabetização Científica, o qual, segundo a autora, defende que a alfabetização implica numa autoformação, propiciando ao homem capacidade de interferir criticamente no seu contexto. Chassot (2018), ao falar que alfabetizar cientificamente é facilitar a leitura do mundo, bem como transformar esse para melhor, também se aproxima da visão de alfabetização de Paulo Freire. No entanto, Paulo Freire, em suas obras, não adota os termos alfabetização científica e letramento científico, ele fala de alfabetização e de um ensino que seja capaz de propiciar ao aluno uma atuação crítica na sociedade e, dessa forma, sua proposta de ensino pode nos remeter tanto à Alfabetização Científica quanto ao Letramento Científico, considerando a amplitude de suas ideias.

Isso posto, é possível que os estudiosos de temas que tenham relação com o contexto de alfabetização e/ou letramento, se apropriem das teorias de Paulo Freire, conforme as necessárias argumentações e adequações que possam subsidiar discussões aprofundadas sobre o assunto. Nesta tese, optou-se por utilizar o termo

alfabetização científica, com fundamentação teórica em Paulo Freire, pois compreendemos que a alfabetização defendida pelo autor vai muito além do ato de ensinar a ler e a escrever, não sendo apenas “[...] o momento em que mecanicamente a mente burocrática do educador inicia o tratamento burocratizante da mente dos alfabetizados, recheando-a de frases, de palavras, de sílabas, de letras, de exclamações!” (FREIRE, 2006b, p. 116).

A Alfabetização para Paulo Freire é um processo que deve ser construído em conjunto, com a participação do professor, dos alunos e da comunidade, no qual todos e todas são sujeitos do processo. O autor defende também um ensino que seja transformador, que leve à promoção da ingenuidade à criticidade. Segundo Freire (1967),

[...] a alfabetização é mais do que o simples domínio psicológico e mecânico de técnicas de escrever e ler. [...] É entender o que se lê e escrever o que se entende. [...] Implica, não uma memorização visual e mecânica de sentença, de palavras, de sílabas, desgarradas de um universo existencial, mas numa atitude de criação e recriação. [...] Implica numa autoformação de que possa resultar uma postura interferente do homem sobre seu contexto (FREIRE, 1967, p. 110).

Assim, a alfabetização para o autor se constitui de um processo de formação para a cidadania, levando o educando a desenvolver sua criticidade, sua capacidade de se enxergar como cidadão, capaz de intervir na sociedade, seja no âmbito político, ambiental, cultural, social e econômico. Dessa forma, defendemos que a alfabetização científica também deve seguir essas mesmas diretrizes da alfabetização proposta por Freire, formando cidadãos com conhecimento científico e capazes de utilizar esse conhecimento para compreender e atuar, de forma consciente, na sociedade, principalmente em relação às questões científicas e tecnológicas que envolvam a ciência.

Nas palavras de Freire “Uma educação deve preparar, ao mesmo tempo, para um juízo crítico das alternativas propostas pela elite, e dar a possibilidade de escolher o próprio caminho” (FREIRE, 1980, p. 20), o que evidencia que ele sempre esteve preocupado com o desenvolvimento da conscientização do educando, em relação a sua posição na sociedade e sua capacidade de transformar a realidade posta.

Ainda nesse viés, segundo Freire e Shor (1986),

Através da educação libertadora, não propomos meras técnicas para se chegar à alfabetização [...] os métodos da educação dialógica nos trazem à intimidade da sociedade, à razão de ser de cada objeto de estudo. Através do diálogo crítico sobre um texto ou um momento da sociedade, tentamos penetrá-la, desvendá-la, ver as razões pelas quais ele é como é, o contexto político e histórico em que se insere. Isto é para mim um ato de conhecimento e não [...] mera técnica para aprender o alfabeto (FREIRE; SHOR, 1986, p. 16).

Essas palavras reforçam, mais uma vez, a visão de Freire sobre a educação adequada, bem como deixa claro a importância de uma educação que propicie ao educando, muito mais do que aprender o alfabeto, que seja capaz de integrá-lo à sociedade o que pode ser conseguido na área de ciências, por meio da alfabetização científica. Concordamos com Freire quando ele diz que “[...] a alfabetização como ato de conhecimento, como ato criador e como ato político é um esforço de leitura do mundo e da palavra. Agora já não é possível texto sem contexto” (FREIRE, 2003, p. 30), evidenciando que o contexto do educando, seu tempo e seu espaço, sempre devem ser considerados, e essa alfabetização pensada em termos da alfabetização científica propicia a formação ampla do educando.

Analisando pelo olhar da Química, entendemos que a leitura da palavra equivaleria à leitura da linguagem Química, enquanto a leitura do mundo seria o desenvolvimento de competências para utilizar essa linguagem Química, para entender e compreender o mundo no contexto no qual o educando está inserido. Essa compreensão, em relação ao conhecimento científico, poderia influenciar a sua interpretação do texto a partir do contexto, contribuindo, assim, de forma efetiva, para a sua formação como cidadão. Dessa maneira, as concepções de Freire sobre alfabetização e educação vão ao encontro da nossa concepção de alfabetização científica, que é concebida como um tipo de alfabetização que seja capaz de formar um cidadão com conhecimento em ciências, que seja capaz de utilizar esse conhecimento nas diversas situações de seu dia a dia, bem como em prol da transformação da sociedade.

A alfabetização científica, em qualquer nível, pode ser alcançada por meio de uma proposta de educação problematizadora, que seja capaz de ensinar ao educando a linguagem da ciência, especificamente da Química, bem como proporcionar a ele a

compreensão dessa linguagem, de forma que o educando possa ter condições para utilizá-la em diversas situações do seu cotidiano. Dessa forma, ter facilitada a compreensão de fenômenos que envolvam a ciência, bem como ter capacidade de, a partir desses conhecimentos, desenvolver ações que possam transformar conscientemente o mundo ao seu redor.

Entendemos que, nos últimos anos, houve um esforço por parte dos professores, os quais vêm propondo práticas pedagógicas diversificadas, na busca de alfabetizar cientificamente seus alunos da educação básica, no entanto, esses esforços, mesmo sendo importantes, ainda não foram suficientes para provocar mudanças significativas nesse nível de ensino. Mesmo considerando diretrizes educacionais que sinalizam elementos, como a contextualização, que pode significar importantes relações no processo de alfabetização científica no âmbito do ensino de ciências, não se evidenciam modificações consistentes no ensino de Química. Amaral, Rosa e Locatelli (2019), ao fazerem um estudo sobre pesquisas que tratam da alfabetização científica no campo da Educação em Química, considerando a formação cidadã, evidenciam que há fragilidades nessas abordagens, pois ainda não foi possível identificar elementos de tomada de decisão dos estudantes, a partir das práticas pedagógicas desenvolvidas em sala de aula.

A realidade que está posta em diversas escolas do Brasil nos mostra que elas não têm conseguido cumprir o seu papel de alfabetizar cientificamente os educandos. Para Klein e Pátaro (2008, p. 1), “O acesso à escola foi democratizado, mas o acesso aos conhecimentos por ela veiculados ainda é restrito, uma vez que muitos alunos e alunas não conseguem aprender, e parecem não encontrar sentido nos conteúdos ensinados”, refletindo direta e negativamente no desenvolvimento da alfabetização científica, principalmente na disciplina de Química.

Essa perspectiva corrobora com a ideia de que o ensino ofertado aos alunos, em várias escolas, ainda hoje ocorre por meio de uma educação bancária, que prioriza a memorização, o treinamento, um ensino que considera os alunos como meros receptores e reprodutores de conteúdos, que não está preocupado se o aluno aprendeu e se apropriou dos conceitos científicos ensinados pelo professor, como já discutido anteriormente.

Segundo Maldaner e Zanon (2004), “A escola é a instituição social que busca proporcionar a aprendizagem as novas gerações e, no entanto, é sempre criticada pelo pouco desenvolvimento intelectual produzido na maioria das crianças e jovens que permanecem nela por muitos anos” (MALDANER; ZANON, 2004, p. 43). Essa crítica feita pelos autores configura um problema sobre o qual é preciso refletir, uma vez que a escola é local de acesso à educação formal e ao saber sistematizado. Sendo local de conhecimento, também deveria ser o local de desenvolvimento intelectual. Mas, para que esse desenvolvimento ocorra, é necessária uma postura diferente da escola em relação ao processo de ensino e aprendizagem.

No caso das ciências, por exemplo, é na escola que os educandos aprendem os conteúdos das ciências e a linguagem científica e, para que esta aprendizagem seja efetiva, tenha sentido para eles, é preciso que haja contextualização, discussão, reflexão sobre essa linguagem, sua importância e sua utilização. Se isso ocorresse, os educandos sairiam da escola capazes de utilizar a linguagem científica em diversas situações de sua vida cotidiana, facilitando, dessa forma, sua compreensão do mundo.

A falta dessa compreensão de mundo, a partir da linguagem da ciência, pode resultar em problemas extremamente prejudiciais à população em geral. Um exemplo disso, que se constitui no recorte desta tese, tem relação com o acidente radiológico ocorrido em Goiânia, em 1987, que foi ocasionado por diversos fatores, dentre eles a falta de conhecimento ou compreensão do símbolo de Radioatividade que estava estampado no equipamento de radioterapia, indicando que se tratava de um material que continha uma fonte radioativa e que, portanto, oferecia risco às pessoas, quando manipulado.

Se, nos dias atuais, tivéssemos uma situação semelhante à de 1987, na qual havia um equipamento contendo uma fonte de Césio 137 abandonado nas ruínas de um prédio, é provável que ocorresse um novo acidente radiológico e, talvez, até de maiores proporções, devido à possibilidade de comunicação instantânea entre as pessoas, por meio de redes sociais. Nossa afirmação decorre do fato de que o ensino de ciências, na maioria de nossas escolas, da forma como se apresenta, pouco tem contribuído para o desenvolvimento de atitudes críticas em relação a temas científicos que afetam a sociedade (SASSERON, 2015).

A temática Radioatividade já estava presente no currículo do Ensino Médio na época do acidente, e continua hoje. No entanto, a questão é que o professor pode até abordar conceitos como radiações alfa, beta e gama, decaimento radioativo, fissão e fusão nuclear, mas o faz na forma de transmissão de conteúdo e, não de uma ampla discussão com os alunos sobre esses assuntos, para que eles os compreendam, apropriem-se deles e tenham condições de utilizá-los na sua vida. Um enfoque maior ao contexto do acidente será dado no capítulo 3.

Outra situação que nos ajuda a refletir sobre a importância da alfabetização científica nas escolas, nos dias atuais, é a pandemia da Covid-19. Desde o seu início, diversas notícias falsas sobre medicamentos e tratamentos caseiros que prometem a cura da doença vêm sendo disseminados nas redes sociais e as pessoas estão acreditando, divulgando e fazendo uso de medicamentos, como, por exemplo, a Ivermectina[®], um vermífugo, que não possui nenhuma comprovação científica de que seja eficaz para matar o vírus nas doses toleradas pelos seres humanos.

Em uma sociedade cujos cidadãos fossem alfabetizados cientificamente, fatos como esse não ocorreriam, ou ocorreriam em menor escala, pois as pessoas teriam conhecimento científico para refutar tais notícias, e não fariam uso indiscriminado de medicamentos. Fica evidente, a partir desse exemplo, que há ainda, nos dias de hoje, uma carência da população em geral, em termos de alfabetização científica.

É preciso fazer um parêntese aqui. Sabemos que algumas pessoas que possuem conhecimento científico, pois estudaram para isso, estranhamente, por opção, desconsideram esse conhecimento, é o que ocorre quando, por exemplo, médicos, que são profissionais da saúde, receitam e defendem o uso de medicamentos para a Covid-19, sem comprovação científica de sua eficácia, o que, além de colaborar para a propagação de notícias falsas, ainda coloca a vida dos seus pacientes em risco. Entretanto, entendemos que estes são casos isolados, sendo essas pessoas constituintes de uma minoria e ratificamos que, de modo geral, a apropriação do conhecimento científico e o desenvolvimento da capacidade de usá-lo adequadamente são capazes de trazer benefícios individuais e coletivos. Para nós, neste caso, o médico não está agindo com criticidade, um dos pilares da alfabetização científica.

A responsabilidade pela alfabetização científica é tanto da escola como dos professores de ciências, tendo estes um papel de suma importância nesse processo, para cujo êxito é necessário que o professor seja bem formado, durante a sua licenciatura. Segundo Maldaner (2020, p. 61) “[...] há um compromisso social da escola, como instituição social gerada na esfera política, com o aprender e isso não se realiza sem uma mediação adequada”. Essa mediação deve ser feita por um professor com formação específica nas diversas áreas de conhecimento.

Pelas discussões apresentadas anteriormente, independente do uso do termo alfabetização científica ou letramento científico, fica evidente que as instituições ainda não conseguem propiciar esse ensino capaz de levar o aluno, de qualquer nível, a uma compreensão crítica da realidade, tendo como balizadores os conhecimentos científicos adquiridos durante a sua permanência nas instituições de ensino, como defende Paulo Freire.

Há diversos fatores que podem influenciar tais lacunas na formação escolar, como problemas sociais, falta de investimento na educação, formação dos professores, dentre outros. Em relação à formação inicial de professores, Greszczyszyn, Camargo Filho e Monteiro (2018), ao estudarem sobre o nível de alfabetização científica de estudantes de ensino médio e superior, sinalizam, em suas conclusões, a importância da melhoria da formação científica de estudantes de cursos de licenciatura, para que estes possam, quando atuantes na docência da educação em seus diversos níveis:

[...] alfabetizar cientificamente seus alunos, sejam eles do ensino Fundamental, Médio ou Superior, para que assim se crie pessoas reflexivas de sua realidade não apenas meros conhecedores de conceitos que não conseguem estabelecer relações desses conceitos com a realidade cotidiana (GRESZCZYSCZYN; CAMARGO FILHO; MONTEIRO, 2018, p. 201).

A seguir, discutiremos alguns aspectos que relacionam a alfabetização científica à formação de professores de Química nas IES.

1.4 A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA E A FORMAÇÃO DE PROFESSORES: A EDUCAÇÃO QUE TEMOS E A EDUCAÇÃO QUE QUEREMOS

Um dos objetivos do ensino de Química no contexto escolar é “[...] relacionar conteúdos químicos com aspectos e temas da vida cotidiana a fim de que os alunos compreendam algumas importantes contribuições da ciência Química à sociedade e à vida das pessoas” (SCHNETZLER; NIEVES; CAMPOS, 2007, p. 2). No entanto, em termos de formação de professores, houve um descompasso na institucionalização de um currículo específico para a licenciatura, pois, conforme Mesquita e Soares (2011), apesar de o primeiro curso de formação de professores de Química ter sido criado na USP, na década de 1930, apenas em 1962 foi estabelecida uma separação específica entre os currículos de Química Industrial e Licenciatura em Química.

A demora em se institucionalizar um currículo específico obstaculiza a efetivação de uma formação que contemple objetivos como o apresentado por Schnetzler, Nieves e Campos (2007). Importante destacarmos que a mudança curricular de 1962 deu-se no âmbito de uma instituição (USP), mas que diretrizes específicas para a formação de professores de Química, na esfera federal, só foram estabelecidas em 2001, diretrizes estas que são vigentes até os dias de hoje (BRASIL, 2001). Essa falta de direcionamento formativo, tendo em vista as especificidades da ação pedagógica, acarreta dificuldades na “[...] construção com dimensões sociais, políticas e de conhecimento” (GARCIA; KRUNGER, 2009, p. 2218).

Até a década de 1990, não havia sequer a obrigatoriedade de um curso de licenciatura como pré-requisito para atuação na educação básica. A obrigatoriedade de curso superior em licenciatura plena para exercer a docência na educação básica só veio a acontecer com a publicação da Lei n. 9.394/96, Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (BRASIL, 1996). Como consequência da publicação dessa lei, houve o aumento no número de cursos de licenciatura plena oferecidos pelas Instituições de Ensino Superior (IES) no Brasil, para que a nova demanda fosse atendida (MESQUITA; CARDOSO; SOARES, 2013).

Como desdobramentos da lei, foram publicados, posteriormente, documentos balizadores e norteadores dos cursos de graduação em licenciatura plena. Especificamente, na área da Química, foram publicadas em 2001 as Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química – Parecer CNE/CES n. 1.303/2001

(BRASIL, 2001), as quais trazem o perfil esperado do formando, as habilidades e competências que devem ser desenvolvidas durante a graduação, bem como o currículo que deve ser construído contemplando os conteúdos básicos, específicos, estágio e atividades complementares que devem ser cumpridas durante o curso. Esse perfil do egresso especifica quais características devem ter o licenciado para a sua atuação profissional (CORRÊA; MARQUES, 2017). Em relação a esse perfil, o documento citado anteriormente traz que:

O Licenciado em Química deve ter formação generalista, mas sólida e abrangente em conteúdos dos diversos campos da Química, preparação adequada à aplicação pedagógica do conhecimento e experiências de Química e de áreas afins na atuação profissional como educador na educação fundamental e média (BRASIL, 2001, p. 4).

Apesar de o documento citado ter sido publicado há cerca de 20 anos, a formação inicial de professores de Química vem sendo discutida por pesquisadores que tecem diversas críticas relacionadas à qualidade formativa destes cursos (FERNANDEZ, 2018; MALDANER, 2020; MALDANER; GALIAZZI, 2017; SCHNETZLER; ANTUNES-SOUZA, 2019). Dentre elas, segundo Schnetzler, Nieves e Campos (2007, p. 1), a de que ainda é comum a prevalência em alguns cursos da “[...] velha ideia simplista de que para ser professor de química basta saber e dominar algumas técnicas pedagógicas [...]”. Neste sentido, os cursos de licenciatura em Química não estão preparando adequadamente o licenciando para o desenvolvimento de atividades pedagógicas que levem em consideração as relações entre o conhecimento científico e o conhecimento escolar que envolvem, dentre outros aspectos, a compreensão de obstáculos epistemológicos e o entendimento dos níveis fenomenológico, teórico e representacional do conhecimento químico. Isso ainda ocorre, apesar de os documentos explicitarem a necessidade de uma formação sólida, abrangente e adequada à atuação profissional (COSTA; KALHIL; TEIXEIRA, 2015; FERNANDEZ, 2018; MOURÃO; GHEDIN, 2019).

Sobre as perspectivas em curso de licenciatura, a Resolução do Conselho Nacional de Educação (CNE/CP), de 18 de fevereiro de 2002, que institui as Diretrizes Curriculares Nacionais Para a Formação de Professores para a Educação Básica

(BRASIL, 2002), no seu artigo 5º, discorre sobre o que deve ser levado em conta no projeto pedagógico de cada curso, deixando claro que:

I - a formação deverá garantir a constituição das competências objetivadas na educação básica; II - o desenvolvimento das competências exige que a formação contemple diferentes âmbitos do conhecimento profissional do professor; III - a seleção dos conteúdos das áreas de ensino da educação básica deve orientar-se por ir além daquilo que os professores irão ensinar nas diferentes etapas da escolaridade; IV - os conteúdos a serem ensinados na escolaridade básica devem ser tratados de modo articulado com suas didáticas específicas (BRASIL, 2002, p. 2).

Não há dúvida de que os documentos deixam explícitos os caminhos que devem ser percorridos no processo de formação docente, reforçando a necessidade de articulação entre a formação docente e a prática docente. Concordamos que esses documentos trouxeram avanços no campo da formação de professores, como é relatado pela literatura que, ao longo das últimas décadas, diversas ações importantes foram propostas em busca da melhoria da qualidade do ensino de Química na formação de professores (SCHNETZLER; NIEVES; CAMPOS, 2007) e entendemos que essas ações são fundamentais para que mudanças ocorram. No entanto, elas ainda são sutis diante dos problemas presentes na formação de professores, que foram perpetuados ao longo de décadas, seja nos cursos antigos ou nos mais recentes (COSTA; KALHIL; TEXEIRA, 2015).

Dessa forma, é preciso fazer mais para mudar o cenário como um todo, pois, mesmo com essas ações, ainda hoje, temos a prevalência de um ensino pautado na racionalidade técnica, o qual separa a teoria da prática, que concebe o professor como um técnico, aplicador de métodos, teorias e regras a situações da prática profissional (SCHNETZLER; NIEVES; CAMPOS, 2007; SOARES, *et al.* 2012; SILVA SÁ; SANTOS, 2017; SCHNETZLER; ANTUNES-SOUZA, 2019), ou seja, parece que o foco está na formação do químico e não do professor de Química (SCHNETZLER, 2002).

Entendemos também que, a partir da publicação de resoluções específicas para a formação de professores (BRASIL, 2002; BRASIL, 2015; BRASIL, 2019), há avanços em termos da construção da identidade própria dos cursos de licenciatura em Química que nasceram e se consolidaram atrelados aos cursos de bacharelado,

fato que influenciou uma formação de caráter bacharelizante, conforme nos apontam Silva Sá e Santos (2017).

Schnetzer e Antunes-Souza (2019), ao discutirem a problemática da formação de professores de Química, argumentam sobre duas razões epistemológicas que comprometem a formação identitária dos cursos de licenciatura:

A primeira reside na natureza do modelo formativo ser pautada na racionalidade técnica, enquanto a segunda, ao priorizar a pesquisa e, com isso, a formação de bacharéis, coaduna a produção científica e acadêmica dos professores universitários que atuam nas licenciaturas ao *habitus* dos químicos, estabelecendo o monopólio da pesquisa química como modo de manutenção e reprodução desse campo científico e, conseqüentemente, concebendo à docência de forma simplista (SCHENETZLER; ANTUNES-SOUZA, 2019, p. 947).

Para Garcia e Kruger (2009, p. 2220) “O desconhecimento da realidade do professor de Química da escola, por parte dos professores das disciplinas específicas da graduação, ocasiona um ensino de Química na graduação desconectado da vivência do profissional”. Essa falta de relações entre o saber abordado na academia e o saber a ser ensinado na escola contribui para que o futuro professor de Química não estabeleça, em seu processo formativo, conexões contextuais que se configuram muito importantes no processo de alfabetização científica de seus alunos. Ainda nesse viés, Marcon, Graça e Nascimento (2013) explicitam que

[...] os conhecimentos dos futuros professores necessitam ser adaptados à especificidade do contexto de ensino e aprendizagem, e muito concretamente, às características circunstanciais do ambiente onde se realizam as aulas, e às peculiaridades de determinado grupo de alunos (MARCON; GRAÇA; NASCIMENTO, 2013, p. 634).

Isso posto, despreza-se um fator importante no desenvolvimento do processo de formação, que é o contexto, o qual poderia se configurar como subsídio às discussões ocorridas durante as aulas, propiciando, entre outras coisas, o diálogo entre as disciplinas ditas específicas e as pedagógicas.

Outra questão que também vem sendo pontuada pelos pesquisadores e que reflete diretamente na qualidade dos cursos de formação de professores é a

desvalorização do trabalho docente, a falta de condições dignas de trabalho, de verbas para a execução de projetos voltados às licenciaturas, o que acaba dificultando a realização de propostas de ensino diferenciadas que buscam melhorias para a formação de professores. Estes e outros problemas, além de contribuírem negativamente para a formação dos licenciandos, ainda desmotivam os formadores de professores (COSTA; KALHIL; TEXEIRA, 2015; SILVA SÁ; SANTOS, 2017). Importante destacar, aqui, que não estamos falando somente dos cursos de licenciaturas das IES públicas, temos que considerar também a realidade das IES privadas que também formam professores de Química.

O impacto da formação deficitária dos licenciandos em Química pode ser visto após a conclusão do curso durante a atuação profissional, pois, para Maldaner (2020),

A prática corrente dos professores de química em nossas escolas de ensino médio é seguir uma sequência convencionada de conteúdos de química sem a preocupação com as inter-relações que se estabelecem entre esses conteúdos e, muito menos, com questões mais amplas da sociedade (MALDANER, 2020, p. 109).

Dessa forma, concordamos com Schnetzler e Souza-Antunes (2019, p. 948) ao afirmarem que “[...] à docência, portanto, além da capacitação científica, exige o domínio de práticas de ensino e de aprendizagem consideradas no âmbito da ciência, da cultura e da sociedade”. Embora no campo do ensino de Química seja importante o estabelecimento de relações entre os saberes científicos e as questões sociais e culturais que se fazem presentes no mundo que envolvem os estudantes, há lacunas no âmbito da educação básica, conforme apontadas por Maldaner (2020):

A ideia de química entre os alunos do grau médio, quando deve ocorrer um estudo mais sistemático desta matéria, é a de que ela se relaciona com o espetacular, o diferente, a explosão, a magia da transformação inexplicável. Os professores de química, em sua maioria, além de não conseguirem reverter essa ideia, acabam criando uma ideia negativa da química como objeto de conhecimento escolar e científico. Os alunos, em geral, saem do ensino médio tendo a sensação de não terem tido contato com um conhecimento realmente importante, além de achá-lo abstrato e de difícil compreensão [...] (MALDANER, 2020, p. 162).

Como ficou evidente, nas palavras do autor citado, a formação deficitária do professor de Química que irá atuar na educação básica, não só é um fator limítrofe em sua atuação, reforçando e mantendo uma educação bancária que vem sendo desenvolvida ao longo dos anos e criticada por pesquisadores, como também perpetua no aluno a ideia de que a Química é uma disciplina difícil e o conhecimento científico não tem utilidade em sua vida. Essa perspectiva afasta alunos das ciências e impossibilita, assim, que os estudantes possam acessar conhecimentos socialmente construídos, bem como reconheçam que o conhecimento científico não só é importante, mas, também, que a sua compreensão facilitaria uma inserção crítica na sociedade, contribuindo dessa forma para eles exercerem a sua cidadania (SERRA, 2012).

Nesse sentido, a alfabetização científica se configura como um olhar para o ensino de ciências que pode contribuir na superação do ensino de Química desvinculado do mundo da vida. Isso corrobora com a argumentação de Vizzotto e Del Pino (2020), ao afirmarem que:

Deseja-se que ao concluir o Ensino Médio, os egressos possuam competências que os permitam compreender e atuar em seus cotidianos de forma crítica e responsável. De modo geral, a alfabetização científica compartilha desse objetivo e esse ideal corrobora para que as disciplinas científicas possam contribuir significadamente para tal processo (VIZZOTTO; DEL PINO, 2020, p. 4).

No entanto, esse processo de mudança na educação básica perpassa por mudanças nas licenciaturas que ainda caminham no sentido de estruturar, de forma coerente, as relações epistêmicas entre os saberes científicos, os saberes escolares e os contextos sociais e culturais na formação dos professores. As resoluções referentes à formação de professores (BRASIL, 2002; BRASIL, 2015; BRASIL, 2019) abordam questões gerais dos cursos de licenciatura, ampliando e ratificando novamente a importância de uma formação capaz de formar profissionais capacitados, qualificados, críticos e reflexivos, capazes de atuar na educação básica, de modo a propiciar aos alunos desse nível de ensino, uma educação que realmente faça a diferença em suas vidas, fornecendo-lhes condições de atuar nos âmbitos social, cultural, econômico, político e ambiental, formando verdadeiros cidadãos.

Embora tenhamos essas resoluções, elas, por si só, não garantem a qualidade do ensino. Há evidências, como discutido anteriormente, de que as resoluções não estão sendo amplamente colocadas em prática, uma vez que não se percebem mudanças significativas no ensino de Química das IES, ao longo dos anos. Segundo Maldaner (2020, p. 46) “Hoje há, praticamente, consenso de que os cursos de formação de professores não conseguem responder às necessidades de nenhum nível de ensino” e, ainda, de acordo com Soares *et al.* (2012, p. 72), “[...] a formação inicial do professor precisa ser repensada e reformulada [...]”, reforçando, assim, que ainda hoje continuamos com problemas na formação de professores devido a cursos tradicionais que consideram os alunos como tábulas rasas, oferecendo uma formação que não atende às demandas da educação básica atual e mostrando que é urgente a necessidade de mudança dessa situação.

Entendemos que a formação de professores de Química é um processo complexo que envolve muitas variáveis e que mudanças em prol de uma educação problematizadora, que propicie uma formação sólida e abrangente, é trabalhosa, demanda tempo, mudança de postura dos docentes e reorganização curricular por parte das IES. E, para que elas sejam concretizadas, essas instituições podem começar por repensar a forma como estão conduzindo seus cursos de licenciatura em Química e a formação que estão dando a seus alunos, tanto em relação ao conhecimento científico quanto em relação ao conhecimento pedagógico. A crítica dos pesquisadores é tanto em relação à formação quanto à atuação docente (SCHNETZLER; NIEVES; CAMPOS, 2007).

Nas palavras de Freire (2011b, p. 39) “A prática docente crítica, implicante do pensar certo, envolve o movimento dinâmico, dialético, entre o fazer e o pensar sobre o fazer” e, para que o professor se transforme, é necessário que ele tenha vontade, disposição e preparo para isso, segundo Maldaner (2020, p. 15) “Tornar-se reflexivo/pesquisador requer explicitar, desconstruir e reconstruir concepções, e isso demanda tempo e condições”, para que o professor se transforme e transforme a sua prática pedagógica.

Uma das ações passíveis de serem realizadas em busca dessa prática docente crítica e do professor reflexivo é justamente promover a articulação dos conhecimentos científicos e pedagógicos, o que requer um trabalho coletivo entre os

professores formadores, docentes das IES, em que independentemente da disciplina ministrada, essa fosse pautada pela práxis e pela inter-relação dos conteúdos abordados durante o curso, sejam eles científicos ou pedagógicos, em prol de uma educação problematizadora, que promova a alfabetização científica através do desenvolvimento da capacidade crítica e reflexiva dos alunos.

A perspectiva de uma práxis formativa no âmbito da formação de professores de Química coaduna-se a uma atuação docente na educação básica que envide esforços no desvelar de uma realidade “[...] com vistas a possibilitar, sobretudo, o desencadeamento de um processo de ação transformadora dessa mesma realidade pela interferência dos sujeitos na sociedade” (COELHO; MARQUES, 2007, p. 61). É preciso ressaltar que a educação transformadora no viés da Química exige também discussões que sejam fundamentadas em conhecimentos científicos de caráter específico considerando as diversas áreas da Química, pois, o saber transformador não se constrói esvaziado do saber científico. Segundo Rossi e Ferreira (2012):

O professor bem formado, crítico e consciente pode colaborar na discussão de questões atuais em suas aulas, baseando em conceitos químicos discutidos com propriedade e correção científica adequada para subsidiar a formação de opiniões. Pela sua participação na formação de seus estudantes como cidadãos conscientes, o professor é um dos melhores agentes para fomentar a sociedade em processos reflexivos [...] (ROSSI; FERREIRA, 2012, p. 128-129).

Há outras questões que devem ser consideradas durante o processo formativo dos licenciandos, principalmente quando se busca uma formação que enfatize a alfabetização científica como um caminho da futura ação docente. São elas a especificidade local, a regionalidade e o contexto histórico no qual eles estão inseridos. Para Freire (2006b, p. 29), o “[...] ensino de conteúdos estará sempre associado a uma leitura crítica da realidade”, não é possível, assim, “[...] o texto sem o contexto”, pois somente considerando a realidade do aluno é que será possível uma educação pautada pela problematização e reflexão, propiciando a alfabetização científica dos alunos. É preciso lembrar que o conhecimento é uma construção humana e histórica que possui características próprias dos locais onde foi construído.

Um exemplo dessas questões no ensino de ciências, especificamente no ensino de Química, no estado de Goiás, tanto no nível superior, quanto na educação básica, e que está relacionado com o recorte desta tese, é a temática Radioatividade, a qual está inserida na história do estado de Goiás, devido à ocorrência do acidente radiológico, em 1987, o qual será apresentado detalhadamente no capítulo 3. Entretanto, há evidências de que, ao longo dos anos, não foi dada a devida importância a essa temática e às consequências do acidente no âmbito da formação de professores, como será discutido no capítulo 5.

No entanto, esse conteúdo é presente nos livros e currículos do Ensino Médio e pode se configurar como um importante ponto de partida para a abordagem do tema Radioatividade, de forma contextualizada, problematizada, regionalizada e histórica, considerando o viés da alfabetização científica como caminho de significação dos conceitos da Química.

A partir de tais reflexões, explicitamos nossa hipótese investigativa que parte do pressuposto de que os cursos que formam professores de Química no estado de Goiás, não evidenciam as relações conceituais e contextuais referentes ao acidente radiológico ocorrido em 1987, na cidade de Goiânia, e que essa lacuna formativa obstaculariza o viés de alfabetização científica, tendo como foco o tema Radioatividade na educação básica de Goiás.

Entendemos ser esse um importante tema, pois, considerando-se que o acidente radiológico foi amplificado em suas consequências por elementos como falta de conhecimento científico dos envolvidos, má gestão da área médica e desorganização na gestão do acidente por parte dos responsáveis, uma abordagem escolar que aproxime o conhecimento científico da realidade dos estudantes, problematizando-o em uma prática transformadora, ao alfabetizá-los cientificamente, pode torná-los conscientes e atuantes na realidade à sua volta (FREIRE, 2011b, p. 24).

Dessa forma, esta tese está pautada por alguns questionamentos: o que dizem os PPC dos cursos de licenciatura em Química do estado de Goiás em relação à alfabetização científica ou aspectos que tenham relação com este tema (formação para cidadania, problematização, práxis transformadora)? De que forma a temática Radioatividade está sendo abordada, ou não, durante os cursos de licenciatura em

Química no estado de Goiás? Como os professores de Química do estado de Goiás abordam o tema Radioatividade em sala de aula? Essa abordagem, quando ocorre, tem relação com sua formação inicial e possibilita uma ação pedagógica que alfabetiza cientificamente o estudante?

Assim, esta tese tem como objetivo geral analisar e discutir as relações entre a temática Radioatividade e a alfabetização científica na formação de professores de Química. Como objetivos específicos, temos:

- Fazer uma análise do acidente radiológico ocorrido em Goiânia a partir do olhar freireano, entendendo as relações sociais que emergiram no contexto das ações imbricadas na história do acidente.

- Analisar os PPC dos cursos de licenciatura em Química ofertados pelas IES do estado de Goiás afim de identificar se os cursos contemplam a temática Radioatividade e o acidente com a fonte do Césio 137 ocorrido em Goiânia.

- Compreender, em termos de ação docente, os reflexos obliteradores da (não) abordagem do tema Radioatividade na formação inicial para uma prática pedagógica que considere a alfabetização científica como elemento (trans)formador.

CAPÍTULO 2 – O BRILHO QUE INTRIGOU OS CIENTISTAS

Antes de discutirmos o acidente radiológico ocorrido em Goiânia, precisamos abordar o conteúdo Radioatividade e suas aplicações, bem como conhecer um pouco sobre as características do elemento Césio considerando-se a sua importância como componente do material radioativo que foi a causa material do acidente radiológico de Goiânia. Além disso, é interessante também conhecermos os trabalhos já realizados, que relacionam a temática Radioatividade com a formação de professores. Dessa forma, finalizaremos este capítulo apresentando uma revisão bibliográfica sobre esse viés.

2.1 O CAMINHAR DA DESCOBERTA DA RADIOATIVIDADE

O século XIX foi um marco na história das ciências, houve várias descobertas científicas, principalmente na Europa, e teorias importantes foram propostas tanto na área da Física quanto da Química. Diversos estudos foram publicados, os quais contribuíram para o melhor entendimento da constituição da matéria, como a proposta de modelo atômico de John Dalton em 1807 (BROWN *et al.*, 2016; KOTZ *et al.*, 2016). Ao longo do século, diversos outros cientistas se debruçaram em estudos que fossem capazes de explicar os fenômenos observados na matéria, que iam muito além da sua constituição (BROWN *et al.*, 2016).

Um desses fenômenos que despertou muito interesse na comunidade científica foi a radiação, investigada, entre outros, por Wilhelm Conrad Röntgen. Em 1895 Röntgen trabalhava em uma sala escura, estudando a condutividade dos gases utilizando tubos sob vácuo, chamados ampolas de Crookes, quando um fato lhe chamou a atenção. Ele viu uma folha de papel que continha tetracianoplatinato (II) de Bário ($\text{Ba}[\text{Pt}(\text{CN})_4]$), um material fosforescente que ele utilizava como tela e que estava a uma certa distância do tubo, brilhar emitindo luz (BUONOCORE *et al.*, 2019; CNEN, 2015; XAVIER *et al.*, 2007). Röntgen começou então a fazer uma série de testes a fim de compreender o que estava ocorrendo. Por exemplo, colocou objetos entre o

tubo e a folha de papel e observou que todos os objetos eram atravessados pelos raios (BUONOCORE *et al.*, 2019; XAVIER *et al.*, 2007).

Em um desses testes, observou surpreso que vira a imagem dos ossos de sua mão projetada na folha de papel, fato este que era mais significativo e inovador (ARRUDA, 1996; OKUNO, 2018). Então, Röntgen resolveu registrar essa observação em chapas fotográficas para ter certeza do que estava acontecendo (LIMA; AFONSO; PIMENTEL, 2009). Eis que Röntgen descobre a existência de uma forma de radiação até então desconhecida, denominada por ele de Raios-X (OKUNO, 2018), os quais consistem em “[...] radiações eletromagnéticas de alta energia oriundas de transições eletrônicas de níveis e subníveis mais internos dos átomos” (LIMA; AFONSO; PIMENTEL, 2009, p. 264).

Essa radiação penetrante é “capaz de atravessar materiais opacos à luz e as outras radiações conhecidas (raios catódicos, raios ultravioletas e infravermelhos)” (MARTINS, 2003, p. 30). A primeira radiografia da história foi feita da mão de Anna Bertha Ludwing, esposa de Röntgen (BUONOCORE *et al.*, 2019). No dia 28 de dezembro de 1895 Röntgen encaminha à Sociedade Físico-Médica de Wurzburg, na Alemanha, um relatório contendo as suas descobertas (XAVEIR *et al.*, 2007). Foi Henri Poincaré quem anunciou em 1896 à comunidade científica a descoberta de Röntgen. Pela sua descoberta Röntgen recebeu o primeiro prêmio Nobel de Física em 1901 (ARRUDA, 1996; LIMA; AFONSO; PIMENTEL, 2009; OKUNO, 2018).

O anúncio da existência dos Raios-X despertou o interesse de vários cientistas que passaram então, a estudar tais raios, intensificando assim a dedicação dos cientistas em relação aos estudos da radiação. Uma família que se destacava nas ciências do século XIX, por possuir vários físicos de renome, era a Becquerel. Entre os membros da família havia Antonie Henri Becquerel que tinha interesse por estudos nas áreas de fosforescência e fluorescência das moléculas, assim como seu pai e seu avô (OKUNO, 2018; XAVIER *et al.*, 2007). Em suas pesquisas, após o anúncio por Henri Poincaré das descobertas feitas por Röntgen, Becquerel passou a investigar se substâncias fosforescentes produziam Raios-X quando expostas à luz solar. Becquerel descobriu, em 1896, que um sal duplo^a sulfato de uranila e potássio ($K_2(UO_2)(SO_4)_2$), quando deixado sobre placas fotográficas, era capaz de

impressioná-las, ficando essas placas escurecidas, mesmo na ausência de luz (BROWN *et al.*, 2016; KOTZ *et al.*, 2016; OKUNO, 2018).

Essa descoberta foi feita por um acaso, quando Becquerel deixou a placa juntamente com o sal de Urânio (U) e uma cruz de cobre em uma gaveta escura, aguardando que fizesse um dia de sol em Paris para ele expor os materiais a luz solar. Como se passaram vários dias e o sol não aparecia, Becquerel resolveu revelar a placa e fez então a descoberta (BROWN *et al.*, 2016; OKUNO, 2018; QUINN, 1997). Prosseguindo com seus estudos, fez mais experimentos com amostra contendo Urânio e chegou à conclusão de que era o próprio elemento Urânio o responsável pela radiação, não tendo essa radiação, relação com a fosforescência. Essa radiação ficou inicialmente conhecida como raios de Becquerel (CORDEIRO; PEDUZZI, 2011; OKUNO, 2018; QUINN, 1997; XAVIER *et al.*, 2007).

Segundo Martins (2003, p. 32) “Becquerel afirmou ter confirmado experimentalmente que a radiação do Urânio era de natureza eletromagnética, semelhante à luz e que a emissão diminuía lentamente no escuro, como uma fosforescência invisível de longa duração”. Isso corrobora com a evidência de que Becquerel atribuía a essa radiação, características da luz. Por acreditar que o assunto já estava esgotado, ele não se propôs a aprofundar estudos para conhecer melhor essa radiação e logo perdeu o interesse por esse assunto e passou a focar suas pesquisas em outros temas (MARTINS, 2003; CORDEIRO; PEDUZZI, 2011).

Enquanto Becquerel perdia o interesse pelas pesquisas com sais de Urânio, outra promissora cientista se interessava em estudar mais sobre tal assunto, era Marie Curie, uma jovem polonesa, residente na França, que juntamente com seu marido Pierre Curie, aprofundou as pesquisas sobre essa radiação durante o seu doutoramento e a denominou de Radioatividade (ATKINS; JONES, 2012; BROWN *et al.*, 2016; KOTZ *et al.*, 2016; OKUNO, 2018).

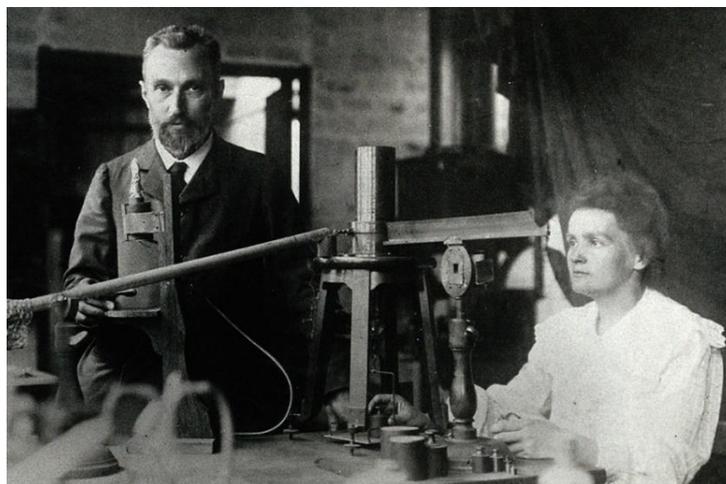
Marie, nessa época, não estava vinculada a nenhuma instituição de ensino superior da França, mas como precisava de um espaço para realizar a sua pesquisa, seu marido Pierre Curie, conseguiu um local cedido pela *École Municipale de Physique et de Chimie Industrielles*, de Paris onde era professor. O espaço conseguido era uma sala fria e úmida que Marie transformou em um laboratório (MARTINS, 2003).

O casal Curie construiu um equipamento a partir dos aparelhos desenvolvidos por Pierre Curie e seu irmão Jacques Curie, um eletrômetro e uma balança de quartzo piezelétrico, o qual era capaz de medir a condutividade elétrica do ar provocada pela radiação proveniente do material que estava sendo analisado. Dessa forma, Marie conseguiu quantificar a energia emitida pelos materiais radioativos (QUINN, 1997; MARTINS, 2003). Segundo Quinn (1997),

A aparelhagem, um conjunto de aspecto desajeitado de cilindros, fios e varas, está espalhada por sobre toda a extensão de uma mesa de trabalho. Marie Curie está sentada a uma extremidade da mesa, com um cronômetro na mão esquerda, os olhos fixos na agulha de um eletrômetro, a mão direita segurando um peso que ela solta para produzir uma carga do quartzo piezelétrico, com a qual neutraliza outra carga, esta emitida pela substância que está na câmara de ionização. O relativo poder de ionização da substância é julgado pela quantidade de tempo que ela leva para produzir “saturação”, o ponto no qual mais nenhuma carga pode ser transmitida através do ar (QUINN, 1997, p. 158).

Com esse aparelho (Figura 1), em 1897, Marie começou então suas pesquisas testando a mesma substância que Becquerel, o sal de Urânio e, com o passar do tempo, ela testou também outros elementos químicos (Cobre, Zinco, Chumbo, Estanho, Platina, Ferro, Ouro, Paládio, Cádmiio, Antimônio, Molibdênio e Tungstênio), com o objetivo de verificar se mais algum emitia radiação e quantificá-la (MARTINS, 2003; OKUNO, 2018).

Figura 1 – Marie e Pierre Curie com o aparelho de quartzo piezelétrico usado para medir a Radioatividade



Fonte: <https://www.gettyimages.pt/fotos/marie-curie?family=editorial&phrase=marie%20curie&sort=mostpopular#>.

Nos seus primeiros ensaios ela não encontrou nenhum outro elemento que emitia radiação. Continuando seu trabalho, Marie testou um mineral negro do Urânio, a Uraninita, também conhecida como pechblenda (uma mistura dos óxidos UO_2 com U_3O_8) (Figura 2). Esse mineral era extraído de uma mina que ficava na fronteira entre a Alemanha e a Tchecoslováquia e era matéria-prima para a obtenção do urânio metálico (QUINN, 1997).

Figura 2 – Mineral Uraninita (pechblenda)



Fonte: <https://geologiaweb.com/minerales/uraninita/>.

Marie observou que a corrente elétrica produzida pela Uraninita era maior quando comparada com a corrente elétrica produzida pelo Urânio metálico. Marie explicou essa observação dizendo que a atividade do mineral era maior que a do urânio puro (MARTINS, 2003; QUINN, 1997). Hoje, sabe-se que a atividade de um radionuclídeo é a “[...] taxa de mudanças dos átomos instáveis em um determinado instante” (TAUHATA *et al.*, 2014, p. 16), em outras palavras, é a taxa de transformação de um determinado número de núclídeos em cada segundo. A unidade atual de medida da atividade de um radionuclídeo é Becquerel ($\text{Bq} = \text{s}^{-1}$ (uma desintegração por segundo) no Sistema Internacional (CARDOSO, 2012).

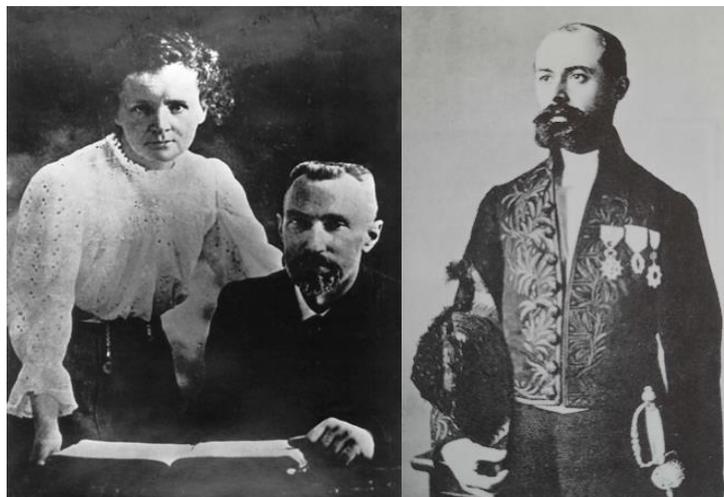
Dando continuidade à sua pesquisa, Marie analisou o elemento Tório (Th) e se surpreendeu ao verificar que ele possuía atividade maior que a do Urânio e da Uraninita. Na sequência ela testou o minério Calcolita, constituído principalmente de fosfato de cobre e uranila (CuUO_2PO_4) e verificou que ele também emitia radiação (MARTINS, 2003). Marie, começou a pensar que deveria haver outros elementos contidos nesses minerais que eram mais ativos que o Urânio e deu outro passo importante em sua pesquisa, começou a trabalhar incansavelmente com o objetivo de isolar desses minerais, possíveis novos elementos químicos.

O casal Curie escolheu iniciar seus trabalhos com a Uraninita e descobriram, em 1898, que esse minério continha dois elementos desconhecidos e altamente ativos, posteriormente identificados e nomeados como Polônio (Po) (400 vezes mais ativo que o Urânio) e Rádio (Ra) que é 900 vezes mais ativo que o Urânio (KOTZ *et al.*, 2016; QUINN, 1997; XAVIER *et al.*, 2007). O casal Curie tinha o cuidado de sempre informar a Academia de Ciências as suas descobertas, o que foi despertando interesse de outros cientistas por suas pesquisas (OKUNO, 2018).

Um fato que merece destaque é que esses novos elementos apresentavam uma propriedade que encantou o casal Curie, o fato de serem luminosos (QUINN, 1997). Assim, a luminosidade dos elementos radioativos fazia deles, encantadores de pessoas desde o século XIX. Tal encanto veio a se repetir em 1987 em Goiânia, quase 200 anos depois.

Por suas descobertas, Becquerel, Marie e Pierre Curie ganharam o prêmio Nobel de Física em 1903 (KOTZ *et al.*, 2016). Essa era apenas a terceira edição do prêmio, o que mostra a importância dos trabalhos desenvolvidos por esses cientistas. Em 1911, Marie recebeu outro prêmio Nobel, agora de Química, relativo ao seu trabalho para o isolamento do Rádio (OKUNO, 2018). Marie Curie, por muitos anos, foi a única mulher a receber o prêmio Nobel na área de ciências, o que evidencia a relevância de seus trabalhos para o progresso da ciência (KOTZ *et al.*, 2016). A Figura 3 a seguir mostra o casal Curie e Becquerel.

Figura 3 – Casal Curie e Becquerel, os vencedores do Prêmio Nobel de Física de 1903

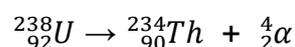


Fonte: Quinn (1997).

Apesar de todos os estudos, o casal Curie tinha apenas hipóteses, mas eles não sabiam explicar por que alguns elementos emitiam radiação e a natureza dessas radiações, bem como não tinham noção dos riscos à saúde causados por tais elementos. Essas compreensões só foram possíveis com o decorrer dos anos e com os avanços das pesquisas na área de Radioatividade. Por exemplo, foi o cientista britânico Ernest Rutherford, em 1899, quem denominou as partículas emitidas do núcleo do átomo de alfa(α) e beta(β), o que foi possível devido aos seus estudos sobre a Radioatividade que envolviam diversos experimentos de natureza elétrica com compostos de Urânio (BROWN *et al.*, 2016; CORDEIRO; PEDUZZI, 2011). O terceiro tipo de radiação emitida pelos núcleos instáveis foi descoberto pelo cientista Paul Villard, que a denominou de radiação gama (γ), mantendo a proposta de Rutherford de usar letras do alfabeto grego (KOTZ *et al.*, 2015).

Isto posto, como podem ser definidas Radiação e Radioatividade? Radiação é a propagação de energia de um ponto a outro que pode ocorrer por meio de partículas ou de ondas eletromagnéticas (OKUNO, 2018; BUONOCORE *et al.*, 2019). Radioatividade é o fenômeno que alguns elementos químicos (radionuclídeos) apresentam, ao se desintegrarem, emitindo partículas (alfa e beta) e onda eletromagnética (gama), de alta energia, de seus núcleos instáveis, transformando-se em outros elementos químicos (MARTINS, 2003; TAUHATA *et al.*, 2014). A seguir conheceremos um pouco dessas radiações.

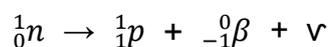
As partículas alfa (α), são formadas por dois prótons e dois nêutrons e representadas pelo símbolo ${}^4_2\alpha$, possuem massa equivalente a $6,69 \times 10^{-27} \text{kg}$ e carga positiva (+2), são portanto consideradas partículas pesadas, tendo uma massa cerca de 7.400 vezes maior que a de um elétron (BROWN *et al.*, 2016; HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2014; KOTZ *et al.*, 2015). Quando um núcleo emite partícula alfa há a diminuição de duas unidades no número de prótons e de quatro unidades no número de massa, formando assim um novo elemento químico (BROWN *et al.*, 2016). A equação 1 mostra a reação de emissão de uma partícula alfa do núcleo do Urânio 238, formado o Tório 234.



Equação 1 – Emissão de uma partícula α do decaimento do Urânio.

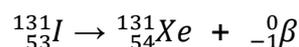
Devido a sua massa elevada, quando comparada a partícula beta, a partícula alfa possui baixo alcance, podendo ser barrada por uma folha de alumínio fino, se irradiada sobre os seres humanos, é capaz de penetrar apenas a camada superficial da pele, no entanto se ingerida é muito danosa, pois transfere facilmente a sua energia aos tecidos provocando a ionização das moléculas, principalmente dos tecidos que se reproduzem rapidamente, como os nódulos linfáticos, a medula óssea e os tecidos formadores do sangue (AZEVEDO, 2005; BUONOCORE *et al.*, 2019; BROWN *et al.*, 2016; KOTZ *et al.*, 2015; MAZZILLI; MÁDUAR; CAMPOS, 2013; SILVA; SILVA; AQUINO, 2014).

Já as partículas beta (β) são constituídas por elétrons, representadas pelo símbolo ${}_{-1}^0\beta$, possuem massa de $9,1 \times 10^{-31}$ Kg e carga negativa (-1), como a massa é muito pequena, é considerada desprezível quando comparada a massa da partícula alfa (ATKINS; JONES, 2012; BROWN *et al.*, 2016). Essas partículas são formadas a partir da transformação que ocorre no núcleo do átomo, onde um nêutron se transforma em um próton, como mostra a equação 2 (TAUHATA *et al.*, 2014; BROWN *et al.*, 2016).



Equação 2 – Conversão de um nêutron em um próton.

Dessa forma, ao emitir uma partícula beta, o núcleo do átomo aumenta em uma unidade a quantidade de prótons e a massa permanece inalterada, uma vez que a massa do nêutron e do próton são praticamente iguais, o que leva à formação de um novo elemento químico que possui a mesma massa do seu precursor (BROWN *et al.*, 2016). A equação 3 mostra a reação de emissão de uma partícula beta do núcleo do Iodo 131.

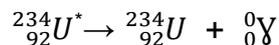


Equação 3 – Emissão de uma partícula β pelo átomo de Iodo.

As partículas beta apresentam poder de penetração cerca de 100 vezes maior que as partículas alfa por terem menor massa (BROWN *et al.*, 2016) e, no caso de atingirem os seres humanos, podem penetrar até alguns centímetros a partir da pele e, se ingeridas, provocam danos graves ao organismo, entretanto podem ser barradas

por um material, tipo acrílico (AZEVEDO, 2005; KOTZ *et al.*, 2015; MAZZILLI; MÁDUAR; CAMPOS, 2013).

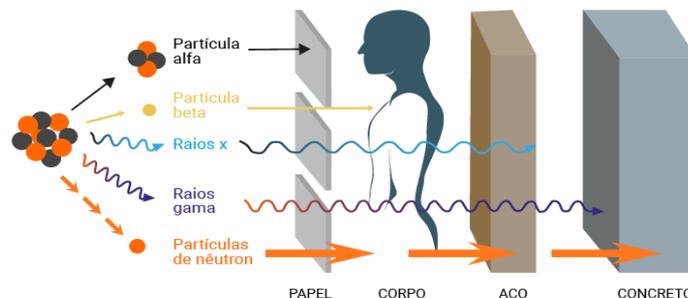
Além dessas duas partículas, os elementos radioativos também emitem onda eletromagnética denominada de gama e representada por ${}^0_0\gamma$, que se propaga com a mesma velocidade da luz, 3×10^8 m/s (KOTZ *et al.*, 2016), sua emissão (Equação 4) não altera nem a massa atômica e nem o número atômico do núcleo (BROWN *et al.*, 2016; CARVALHO; OLIVEIRA, 2017).



Equação 4 – Emissão gama (γ) pelo átomo de Urânio.

A emissão gama geralmente acompanha outra emissão, como a alfa ou a beta, uma vez que representa parte da energia perdida quando os núcleos se reorganizam (CARVALHO; OLIVEIRA, 2017). Por ser uma forma de energia, a emissão gama possui o maior poder de penetração dos três tipos de emissão, conseguindo atravessar diversos materiais, como o corpo humano sendo, portanto, mais prejudicial para os seres vivos, quando comparada às emissões alfa e beta, pois segundo Okuno (2013, p. 186) “Os fótons de raios gama, diferentemente de partículas carregadas, perdem toda ou quase toda energia numa única interação com átomos, ejetando elétron deles que, por sua vez, saem ionizando átomos até pararem”. Diante disso, para barrar a radiação gama é necessário usar placas de chumbo ou camadas grossas de concreto, como mostra a Figura 4 (AZEVEDO, 2005; BROWN *et al.*, 2016; OKUNO, 2013).

Figura 4 – O poder de penetração das radiações



Fonte: <https://radioprotecaonapratca.com.br/2017/12/04/radiacao-entenda-de-uma-vez-por-todas/>.

Quando um radionuclídeo instável emite radiação do tipo alfa e beta, ele se transforma em um outro elemento químico mais estável, uma vez que a quantidade de prótons presentes em seu núcleo modifica, conforme explicitado anteriormente. Esse processo é denominado de decaimento radioativo^b, e cada radionuclídeo possui uma determinada velocidade em que esse decaimento ocorre, podendo variar de milésimos de segundo a milhares de anos (BROWN *et al.*, 2016). Geralmente a velocidade de decaimento é expressa em termos de meia-vida^c, que é “o tempo necessário para metade de uma dada quantidade de uma substância reagir” (BROWN *et al.*, 2016, p. 959).

A tabela 1 a seguir apresenta as meias-vidas de alguns radioisótopos.

Tabela 1 – Meias-vidas e tipos de decaimento para alguns radioisótopos

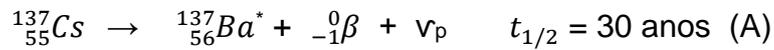
	Isótopo	Meia-vida (anos)	Tipo de decaimento
Radioisótopos naturais	$^{235}_{92}U$	$7,0 \times 10^8$	Alfa
	$^{232}_{90}Th$	$1,4 \times 10^{10}$	Alfa
	$^{14}_6C$	5.700	Beta
Radioisótopos artificiais	$^{137}_{55}Cs$	30,2	Beta
	$^{90}_{38}Sr$	28,8	Beta
	$^{131}_{53}I$	0,022	Beta

Fonte: Brown *et al.* (2016).

Observamos que o decaimento e a meia-vida se configuram como característica de cada elemento e não são afetados por exemplo, pela temperatura, pressão, estado físico ou qualquer outro fator externo (BROWN *et al.*, 2016). De todos os elementos presentes na tabela 1, um merece destaque, o Césio 137, considerando-se a sua importância como componente do material radioativo que foi a causa material do acidente radiológico de Goiânia ocorrido em 1987. Observamos que o Césio 137 apresenta uma meia-vida de aproximadamente 30 anos, isso significa que a cada 30 anos, metade de dada quantidade de átomos de Césio 137 sofre o processo de decaimento radioativo.

Isto posto, considerando o acidente ocorrido em Goiânia em 1987, nos dias de hoje, se passou pouco mais de um período de meia-vida, logo aproximadamente metade da massa de Césio 137 presente na cápsula se transformou em outro elemento químico, o restante continua em atividade, ou seja, emitindo radiação. As

equações 5 (A e B) representam a reação de decaimento do Césio 137 e do Bário instável (CARVALHO; OLIVEIRA, 2017).



Equação 5 – (A) Decaimento do Césio 137 e (B) decaimento do Bário instável.

A meia-vida dos radioisótopos é útil, por exemplo, para definir possíveis aplicações desses elementos, e também para avaliar por quanto tempo esses elementos vão emitir radiação e representar risco à saúde. Essas radiações emitidas nos decaimentos podem ser recebidas pelos seres humanos durante toda a sua vida, dependendo da origem destas radiações, que podem ser naturais ou artificiais. As principais fontes naturais são provenientes do espaço (radiação cósmica originada de explosões de estrelas e do sol), do solo (proveniente de radionuclídeos), da água e do ar (BUONOCORE *et al.*, 2019; KOTZ *et al.*, 2015; MAZZILLI; MÁDUAR; CAMPOS, 2013). Cerca de 50% da radiação que recebemos provém de fontes naturais (BUONOCORE *et al.*, 2019). Já como fontes de radiação artificial podemos citar fornos de micro-ondas, televisores, aparelhos de telefone móvel e diversos dispositivos utilizados para a realização de terapias e diagnósticos na área médica, como os aparelhos de Raios-X e de radioterapia (BUONOCORE *et al.*, 2019; TAUHATA *et al.*, 2014; BROWN, *et al.*, 2016).

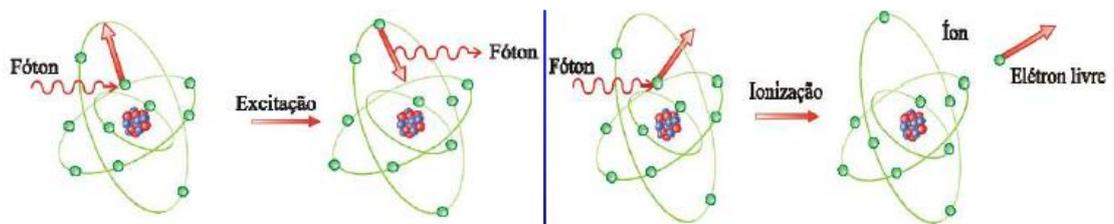
A primeira transmutação nuclear foi realizada por Ernest Rutherford em 1919, quando ele conseguiu converter nitrogênio-14 em oxigênio-17 utilizando partículas alfa (BROWN *et al.*, 2016; BUONOCORE *et al.*, 2019; KOTZ *et al.*, 2015) marcando assim, o início das reações de transmutação nuclear que, ao longo dos anos, foram aperfeiçoadas e intensificadas, produzindo elementos radioativos a partir de elementos não radioativos, possibilitando a ampliação das aplicações envolvendo radioisótopos (OKUNO, 2018).

Segundo Okuno (2018), as radiações utilizadas na medicina até 1934 eram as radiações alfa, beta e gama emitidas por radionuclídeos naturais e os Raios-X produzidos por tubos de Raios-X. No entanto, com o desenvolvimento de pesquisas envolvendo Radioatividade, em 1934, Irene Curie e seu marido Frédéric Joliot-Curie, filha e genro de Marie Curie, também produziram radioisótopos artificiais, o fósforo-30

e o nitrogênio-13 (BUONOCORE *et al.*, 2019). Por este trabalho, foram laureados com o prêmio Nobel de Química, em 1935 (OKUNO, 2018; VIEIRA, 2011). Essas descobertas permitiram que as radiações fossem utilizadas para diversos fins desde então.

Uma das características apresentadas por todos os tipos de radiação é a capacidade de interagir com o corpo dos seres vivos (BUONOCORE *et al.*, 2019; FREITAS *et al.*, 2019). As radiações conhecidas podem ser de dois tipos: não ionizante e ionizante (MIGUEL, 2020). A primeira, de menor frequência e maior comprimento de onda, provoca a excitação dos elétrons, provendo-os de níveis eletrônicos de menor energia para níveis de maior energia e, ao retornarem ao seu nível eletrônico original, emitem a energia absorvida na forma de luz (Figura 5). Um exemplo disso é a radiação eletromagnética de radiofrequência. Já a segunda, a radiação ionizante, de maior frequência e menor comprimento de onda, tem energia suficiente para retirar elétrons de átomos e moléculas, transformando-os em íons (Figura 5), sendo, portanto, mais prejudicial ao sistema biológico (BROWN *et al.*, 2016; CARVALHO; OLIVEIRA, 2017; YOSHIMURA, 2009).

Figura 5 – Efeitos das radiações não ionizantes e ionizantes nos átomos, respectivamente



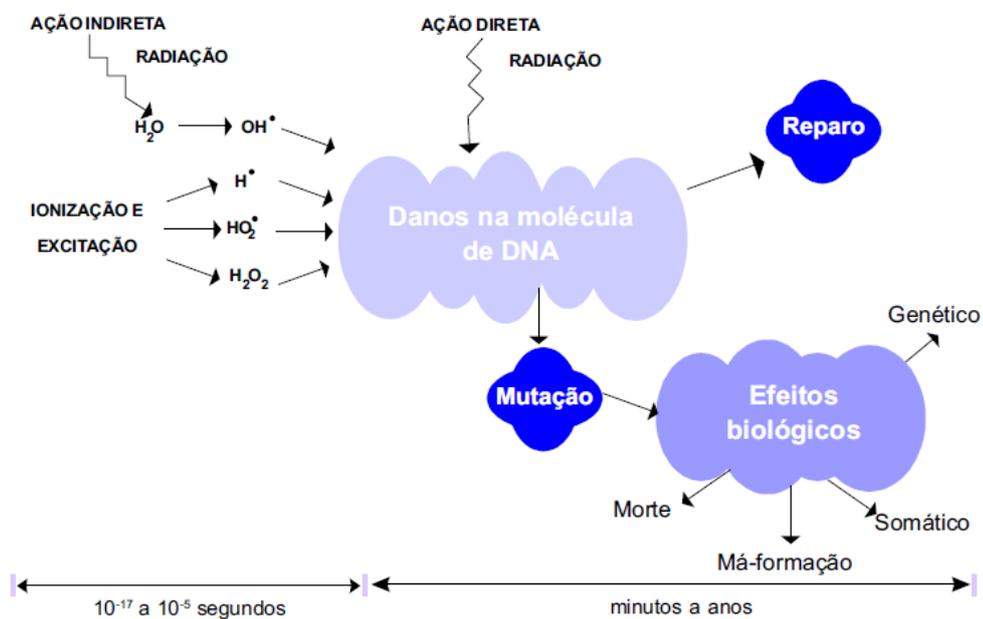
Fonte: http://www1.inca.gov.br/pqrt/download/trab/minicurso_radioprotecao_aula3.pdf.

Assim, como as partículas alfa e beta são ionizantes, retiram elétrons dos átomos, e, portanto, transformam moléculas (água, proteínas, DNA e RNA) em íons ou radicais livres, provocam alterações nos organismos dos seres vivos, prejudicando a função biológica de cada uma dessas moléculas (BROWN *et al.*, 2016; CARVALHO; OLIVEIRA, 2017; MIGUEL, 2020; NOUAILHETAS, 2005; OKUNO, 2013).

Segundo Lima *et al.* (2020) as radiações podem interagir de duas formas com o organismo humano, ionização direta ou indireta. No primeiro caso, ocorre a quebra

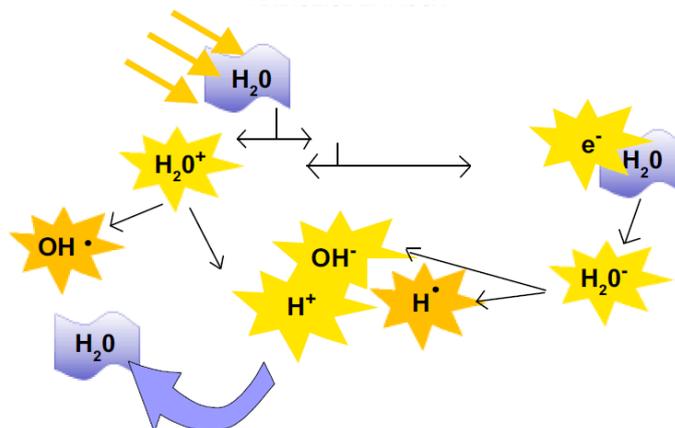
das ligações químicas das células da molécula de DNA, já no segundo caso, a radiação ioniza principalmente as moléculas de água devido a sua grande abundância nos tecidos vivos, transformando-as em íons e radicais livres, os quais atacam outras moléculas transformando-as também em radicais livres e alterando a funcionalidade delas no organismo (BROWN *et al.*, 2016; FREITAS *et al.*, 2019; LIMA *et al.*, 2020). Ambas as interações podem trazer grandes consequências e alterações ao corpo humano. As Figuras 6 e 7 mostram a ionização direta da molécula de DNA e indireta da molécula de água.

Figura 6 – Irradiação direta da molécula de DNA



Fonte: Nouailhetas (2005, p. 29).

Figura 7 – Ionização indireta da molécula de água



Fonte: Nouailhetas (2005, p. 23).

Não é simples prever os danos causados pelas radiações aos seres vivos. As alterações que ocorrem no organismo dependem de alguns fatores, de acordo com Brown *et al.* (2016) “dependem da atividade e da energia da radiação, tempo de exposição e se a fonte está dentro ou fora do corpo” (BROWN *et al.*, 2016, p. 977), depende também do tipo de tecido que foi exposto à radiação (KOTZ *et al.*, 2015). Para quantificar o dano biológico é utilizada uma unidade chamada rem (roentgen equivalent man) (KOTZ *et al.*, 2015). A comunidade científica entende que é mais fácil avaliar os efeitos de uma única dose, do que de uma exposição prolongada à radiação (KOTZ *et al.*, 2015). A Tabela 2 apresenta as doses e os efeitos de uma única dose de radiação.

Tabela 2 – Efeitos de uma única Dose de Radiação

Dose (REM)	Efeito
0-25	Efeitos clínicos não detectáveis
26-50	Ligeira redução temporária na contagem de glóbulos brancos
51 - 100	Significativa diminuição do número de glóbulos brancos do sangue
101-200	Perda de cabelo e Náusea
201 - 500	Hemorragia, úlceras, morte em 50% da população
500	Morte

Fonte: Kotz *et al.* (2015).

Como visto na Tabela 2, as radiações, normalmente em doses baixas não provocam alterações significativas no organismo humano, no entanto é preciso ter cautela nessa afirmação, pois em alguns casos, mesmo em doses baixas pode haver consequências sérias como câncer de pele devido à exposição prolongada à radiação solar. Dessa forma, há diversas variáveis a serem consideradas para avaliar a extensão dos danos biológicos ocorridos em um organismo, que podem ser temporários ou definitivos.

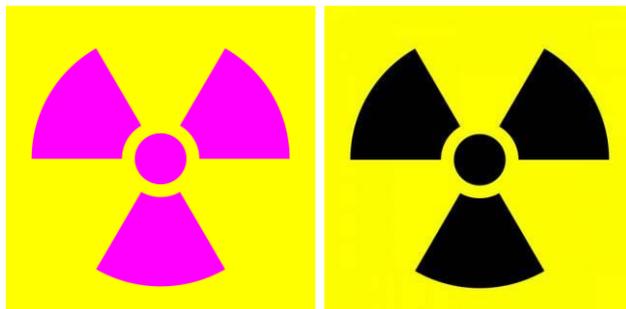
No início dos estudos sobre Radioatividade, se sabia muito pouco dos radioisótopos além da emissão de radiação. Mesmo assim, foram vistos com entusiasmo pela indústria e passaram a ser utilizados para os mais diversos fins, como em cosméticos, em ponteiros de relógios, compressas e almofadas radioativas contendo Rádio, tônicos e revigorantes, pasta de dente, cigarros, contraceptivos, alimentos, baralho, entre outros (LIMA; PIMENTEL; AFONSO, 2011). Essas aplicações nos mostram que é preciso ter cautela na utilização de materiais recém

descobertos, pois a falta de informações a respeito das radiações expôs várias pessoas à radiação desnecessariamente, colocando em risco a saúde e mesmo a vida delas.

Ao longo dos anos, com o desenvolvimento das pesquisas na área, as propriedades dos elementos radioativos foram sendo conhecidas e se compreendeu que a alta energia emitida pelos radionuclídeos e a propriedade ionizante das radiações, realmente trazem benefícios à sociedade, mas não da forma como eles vinham sendo utilizados, e que poderiam trazer grandes danos aos seres humanos (BROWN *et al.*, 2016).

Como forma de alertar sobre a presença de um material radioativo, foi criado um símbolo denominado de Trifólio (Figura 8). Este símbolo foi feito no laboratório Berkely, na Universidade da Califórnia no ano de 1946. Inicialmente as cores utilizadas foram magenta sobre o azul, posteriormente a cor do fundo foi mudada para amarela, isso nos Estados Unidos da América. No Brasil as cores mais comuns utilizadas no símbolo são preto com amarelo (TAUHATA, 2014). Ao longo dos anos o trifólio se tornou universal.

Figura 8 – O símbolo da radiação ionizante: Trifólio



Fonte: CNEN.

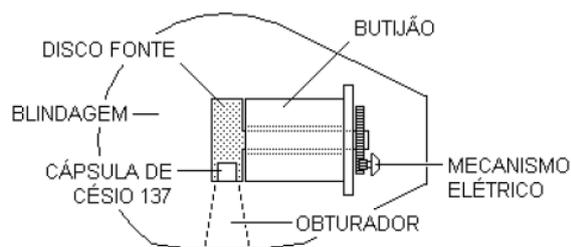
Entre os benefícios da utilização das radiações estão aplicações em várias áreas do conhecimento como, por exemplo, na geração de energia através das usinas nucleares; datação de fósseis através da quantificação do Carbono 14; agricultura através de traçadores radioativos; preservação de alimentos por meio da irradiação; indústria através da gamagrafia; indústria farmacêutica para esterilizar materiais como seringas e luvas. Na medicina, as aplicações acontecem em aparelhos para o tratamento de câncer, para diagnóstico, medicamentos utilizados como contrastes

para exames, entre outros (CARDOSO, sd; CARVALHO, sd; CARVALHO; OLIVEIRA, 2017; CNEN, 2020; FERREIRA *et al.*, 2020; KOTZ *et al.*, 2015; MIGUEL, 2020; TEZOTTO-ULIANA; SILVA; KLUGE; SPOTO, 2015).

Essa última área é a que concentra o maior número de aplicações das radiações que são usadas tanto em diagnóstico como em terapias, bem como possui o maior número de profissionais que lidam com tais radiações (AZEVEDO, 2005). Foi justamente um equipamento da área médica, um aparelho de radioterapia, utilizado para o tratamento de câncer, o qual continha uma fonte de Césio 137, o responsável pelo maior acidente radiológico do mundo, ocorrido em Goiânia em 1987, conforme veremos no capítulo 3.

Os aparelhos de radioterapia, como o que foi a causa material do acidente ocorrido em Goiânia, utilizam como fonte de radiação ionizante para matar as células cancerígenas, radioisótopos como Césio 137 e Cobalto 60. Esses elementos emitem radiação beta e gama espontaneamente e continuamente e, por isso, os aparelhos que os contêm possuem uma blindagem, geralmente feita de chumbo, que impede a saída da radiação da fonte, não oferecendo, portanto, riscos às pessoas, como mostra a Figura 9 (BRASIL, 2000).

Figura 9 – Cabeçote do aparelho de radioterapia contendo uma cápsula de Césio 137



Fonte: Palandi *et al.* (2010, p. 32).

No entanto, quando esses aparelhos são ligados para serem utilizados, segundo Cardoso (2005)

[...] a fonte é deslocada de sua posição “segura”, dentro do cabeçote de proteção (feito de chumbo e aço inoxidável), para a frente de um orifício, que permite a passagem de um feixe de radiação, concentrado sobre a região a ser “tratada” ou irradiada. Após o uso, a fonte é recolhida para a posição de origem (“segura”) (CARDOSO, 2005, p. 7).

Os aparelhos de radioterapia também possuem como item de segurança um sistema de molas, que funciona mesmo com a interrupção da energia elétrica, fazendo com que a fonte retorne a sua posição original (PALANDI *et al.*, 2010). Ratificamos que os aparelhos de radioterapia são seguros, no entanto devem ser operados por profissionais capacitados e quando não forem mais utilizados, ou mesmo precisarem ser substituídos, deve-se dar o descarte adequado a eles, seguindo as normas da CNEN, uma vez que a fonte contendo o radioisótopo ainda continua emitindo radiação.

As radiações quando usadas de forma inadequada, podem trazer diversos malefícios aos seres vivos, destacam-se alterações significativas que podem ocorrer no organismo humano devido ao excesso de exposição ou contaminação à radiação principalmente a artificial, como morte das células saudáveis, modificações nas moléculas que possuem atividades biológicas importantes no organismo, como a água, as proteínas, as enzimas e o próprio código genético DNA e RNA, levando as pessoas a desenvolverem problemas como radiodermite, radionecrose, cataratas, esterilidade masculina e feminina, câncer, entre outros (BROWN *et al.*, 2016; NOUAILHETAS, 2005).

É importante salientar novamente que os malefícios produzidos pelas radiações dependem de alguns fatores como: o tempo de exposição, a distância da fonte de radiação, o tipo de radiação, do local da fonte, ou seja, se esta está externa ou interna ao corpo humano, dentre outros fatores. Comparando as radiações alfa, beta e gama, em relação ao local da fonte, temos que os raios gama são mais prejudiciais quando estão externos ao corpo, pois são capazes de penetrar todo o corpo, o que não ocorre com as outras radiações. No entanto quando a fonte de radiação está dentro do corpo, o que pode ocorrer por meio da ingestão de um radioisótopo, são as partículas alfa as potencialmente mais perigosas, causando de 10 a 20 vezes mais danos que os raios gama devido a sua alta capacidade de transferir energia aos tecidos, como discutido anteriormente (BROWN *et al.*, 2016; KOTZ *et al.*, 2015).

Assim, ao mesmo tempo que materiais radioativos trazem benefícios à sociedade, também podem trazer riscos à saúde humana e ao meio ambiente, além de provocar tragédias. Em relação ao meio ambiente, segundo Miguel (2020)

A partir do momento em que o solo é contaminado, toda a vegetação que nele crescer também será contaminada. Os animais que se alimentarem desta vegetação também sofrerão as consequências da radioatividade, muitas vezes desenvolvendo doenças e anomalias diversas. Trata-se, portanto, de uma forma de contaminação perversa e invisível. O solo não fica infértil, mas tudo o que nasce dele carrega consigo a radioatividade. Se levarmos em conta que a contaminação pode durar décadas, é fácil imaginar o nível de impacto ambiental e as consequências para a vida nas regiões afectadas (MIGUEL, 2020, p. 219).

Dessa forma, os danos ambientais provocados por materiais radioativos são de longa duração, afetando além dos seres humanos, a fauna e a flora, uma vez que estão relacionados com o tempo de meia vida dos radioisótopos, os quais podem permanecer emitindo radiação por dezenas ou mesmo milhares de anos (FIGUEIRA; CUNHA, 1998; MIGUEL, 2020). Dentre os riscos e tragédias que podem ocorrer e contaminar o meio ambiente, citam-se vazamentos e explosões em usinas nucleares e acidentes radiológicos (Anexo 1), como ocorreu em Goiânia.

De acordo com a CNEN (2020, p. 6), sob o ponto de vista de proteção radiológica, acidente é “[...] qualquer evento não intencional, incluindo erros de operação e falhas de equipamento, cujas consequências reais ou potenciais são relevantes”. Esses acidentes são divididos em dois grupos: acidente radioativo ou nuclear e acidente radiológico. O primeiro tipo de acidente é aquele que envolve equipamento no qual ocorre a reação nuclear, como os reatores das Usinas Nucleares, a exemplo do acidente que ocorreu em Chernobyl, na Ex-união Soviética em 1986.

Já acidente radiológico é aquele que envolve uma fonte radioativa, como o que ocorreu em Goiânia/GO com a fonte do Césio 137 (CARDOSO, 2012). Este último acidente é considerado o maior já ocorrido no mundo, pois foi um acidente de grandes proporções, contaminando centenas de pessoas, casas, carros, animais, solo, árvores, levando a óbito imediato quatro vítimas e gerando milhares de metros cúbicos de rejeito radioativo. Abordaremos o acidente ocorrido em Goiânia no capítulo 3.

Tanto no caso de acidente, como no uso de radioisótopos em diversas áreas, há a produção de rejeitos radioativos, que segundo o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) são “quaisquer materiais, resultantes de atividades humanas, que contenham radionuclídeos e para os quais, a reutilização é imprópria ou não prevista” (IPEN, 2010, p. 1). Conforme a própria definição deixa claro, esses

materiais não têm mais utilidade, logo devem ser descartados, mas por oferecerem riscos aos seres vivos é necessário o descarte adequado, em depósitos próprios para esse tipo de rejeito.

Atualmente, quem é responsável pelo gerenciamento e pelos depósitos desse tipo de rejeito no Brasil é a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) juntamente com o IPEN, por meio de alguns centros, como a Gerência de Rejeitos Radioativos (GRR), o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), o Instituto de Engenharia Nuclear (IEN), o Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-NE) e o Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro Oeste (CRCN-CO). O GRR recebe os rejeitos das empresas, sejam eles sólidos, líquidos, biológicos ou fontes seladas, e faz o seu devido armazenamento (IPEN, 2010).

Já o CDTN, entre outras atribuições, recebe fontes radioativas fora de uso. O IEN recebe fontes radioativas fora de uso, rejeitos radioativos sólidos compactáveis com baixo nível de radiação, para-raios, detectores de fumaça e fontes seladas. O CRCN-NE recebe fontes radioativas seladas fora de uso, para-raios e detectores de fumaça (CNEN, sd). O CRCN-CO recebe para-raios e detectores de fumaça. Nenhum desses órgãos é responsável pela coleta dos materiais, sendo essa de responsabilidade da empresa que o gera ou que é proprietária desses materiais, e o transporte dos rejeitos até esses órgãos, deve ser feito seguindo uma série de normas técnicas da CNEN (IPEN, 2010).

Isto posto, a seguir abordaremos brevemente algumas propriedades e características do elemento Césio e do isótopo Césio 137, a causa material do acidente radiológico de Goiânia e o responsável pela geração de milhares de toneladas de rejeitos radioativos.

2.2 O ELEMENTO QUÍMICO CÉSIO

O elemento químico Césio foi descoberto em 1860 em Durkheim, na Alemanha pelos cientistas Robert Wilhelm Bunsen e Gustav Kirchhoff, o seu nome vem do latim *Caesium*, cujo significado é “azul da cor do céu”. A descoberta foi feita quando os pesquisadores faziam análise espectrográfica de uma água mineral e identificaram no

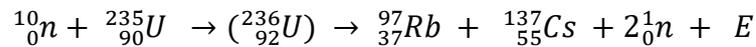
espectro duas linhas azuis próximas e as atribuíram um novo elemento, o Césio (GOMES; JUNIOR; DELAROLE, 2015; TEIXEIRA; SILVEIRA; PIMENTEL, 2017).

O Césio é um metal alcalino, cuja abundância na crosta terrestre é de aproximadamente 3 ppm, e sua ocorrência natural é atribuída principalmente a processos erosivos e intemperismo de minerais e rocha. Outra fonte de Césio é a mineração que libera este elemento no meio ambiente (TEIXEIRA; SILVEIRA; PIMENTEL, 2017), sendo o principal mineral de Césio a Polucita (alumino-silicato hidratado de césio, $\text{Cs}_4\text{Al}_4\text{Si}_9\text{O}_{26}\cdot\text{H}_2\text{O}$), encontrada principalmente no lago Bernic, em Manitoba no Canadá. Outro mineral que contém Césio é a Rodizita (borato de alumínio, berílio, potássio e césio, $(\text{K,Cs})\text{Al}_4\text{Be}_4[(\text{B,Be})_{12}\text{O}_{28}]$) (AQUINO; AQUINO, 2012; MANOSSO, 2006). O Césio é considerado o elemento natural mais reativo e que apresenta o menor valor de energia de ionização^d do seu grupo, transformando-se facilmente no íon monovalente Cs^+ , sendo essa, a forma mais comum de seus íons (BROWN *et al.*, 2016; KOTZ *et al.*, 2015; TEIXEIRA; SILVEIRA; PIMENTEL, 2017). O Césio forma substâncias solúveis e estáveis com halogênios, classificadas como sais, como o cloreto de Césio (CsCl).

O Césio é um elemento químico que possui 55 prótons e número variável de nêutrons em seu núcleo, dependendo do isótopo (BROWN *et al.*, 2016). Na natureza somente um isótopo estável é encontrado, o Césio cuja massa é de 132,9 u, sendo representado por $^{133}_{55}\text{Cs}$, os outros isótopos, que são mais de 34, são radioativos ou instáveis, se desintegram por emissão de partículas beta e radiação gama, possuindo meia-vida variando de segundos a vários anos (COLLINS; JARDIM; COLLINS, 1988). Dentre os isótopos, temos o radioisótopo Césio 137, cuja meia-vida é de cerca de 30 anos, uma das mais altas de todos os isótopos, e apresenta como produtos da sua desintegração isótopos do elemento Bário, como mostrado na equação 5 (CARVALHO; OLIVEIRA, 2017; TEIXEIRA; SILVEIRA; PIMENTEL, 2017).

Segundo Collins *et al.* (1988) “[...] o Césio-137 é um radionuclídeo produzido através da fissão de urânio, que se desintegra emitindo partículas beta, elétrons e raios gama” (COLLINS; JARDIM; COLLINS, 1988, p. 169), ou seja, é um isótopo artificial do Césio, não existindo naturalmente. Entretanto, o Césio 137 foi introduzido na natureza devido à realização de testes com armas nucleares entre as décadas de 1950 e 1970 e a ocorrência de acidentes, como o de Chernobyl em 1986 e o de

Goiânia em 1987(CARVALHO, sd.; FIGUEIRA; CUNHA, 1998). A equação 6 mostra a reação de obtenção do Césio 137.



Equação 6 – Obtenção do Césio 137 a partir da fissão do Urânio.

Por alguns anos, umas das principais aplicações do Césio 137, foi como fonte de radiação em aparelhos de radioterapia, mas atualmente é utilizado em outras áreas da medicina nuclear, por exemplo, em medidores de radiação, como os ativímetros e curiômetros (IPEN, sd.). Outras aplicações do Césio 137 são esterilização de materiais e preservação de alimentos, traçador no solo para estudos sobre erosão e sedimentação, utilizado em sensores para medidores de umidade, fluxo, densidade e espessuras, inclusive na indústria petrolífera (COLLINS; JARDIM; COLLINS, 1988; KOTZ *et al.*, 2015; TEIXEIRA; SILVEIRA; PIMENTEL, 2017).

Essas aplicações que foram surgindo ao longo dos anos, são responsáveis, em parte, pela presença do Césio 137 entre nós. Como já foi dito anteriormente, o Césio 137 é produzido da fissão do Urânio, ou seja, é o subproduto da fissão do Urânio utilizado como combustível físsil nas usinas nucleares.

Em relação as características desse elemento, o radioisótopo Césio 137, assim como os demais metais alcalinos, forma sais solúveis com haletos. Segundo Collins; Jardim; Collins (1988)

Os haletos de césio, também, são cintiladores ou seja, quando expostos a radiação gama ou outra radiação ionizante, absorvem energia e emitem fótons energéticos visíveis, parecendo luminescentes. Os cristais de ${}^{137}\text{CsCl}$ podem ser excitados pelas próprias desintegrações que emitem partículas beta e raios gama. Como resultado, o ${}^{137}\text{CsCl}$ emite uma luminescência azul intensa como a observada por várias pessoas que tiveram contato com os cristais liberados em Goiânia (COLLINS; JARDIM; COLLINS, 1988, p. 172).

Devido a essa propriedade, o cloreto de Césio 137 é conhecido como um sal azul. Foi justamente esse brilho e essa coloração azul que encantou as pessoas em Goiânia em 1987, conforme será destacado no capítulo 3. O cloreto de Césio apresenta outras propriedades também, como higroscopia, propriedade que propicia ao composto a capacidade de aderir à água presente nas superfícies com facilidade,

como por exemplo a pele humana, o que pode provocar queimaduras (COLLINS; JARDIM; COLLINS, 1988).

Quando em contato com o corpo humano, o Césio pode ocasionar uma série de problemas, uma vez que emite partículas beta e raios gama. As partículas beta se estiverem externas ao corpo podem provocar lesões na pele (Figura 10), principalmente se estiverem em contato direto com esta, uma vez que podem penetrar de 2 a 3 mm e, como são ionizantes, acabam provocando a morte dos tecidos, pois ionizam as moléculas presentes na pele, conforme mostra a Figura 10. Se essas partículas forem emitidas na parte interna do corpo os danos podem ser maiores. Já a radiação gama, por ser capaz de atravessar todo o corpo, provoca também lesões internas, comprometendo órgãos importantes e causando alterações nas moléculas de DNA, podendo levar a várias doenças como o câncer, bem como a morte (COLLINS; JARDIM; COLLINS, 1988; ROCHA, 2008).

Figura 10 – Lesões provocadas pelo Césio 137 nas vítimas do acidente ocorrido em Goiânia em 1987



Fonte: Rocha (2008, p. 61, 65, 68).

Em relação ao meio ambiente, de acordo com Teixeira; Silveira; Pimentel (2017), há uma preocupação mundial em relação à contaminação causada ao meio ambiente pelo Césio. Isso ocorre, em parte, devido ao conhecimento de que esse elemento é responsável por parte da radiação recebida a longo prazo pelos seres humanos.

Uma vez presente no ambiente, o Césio pode ser rapidamente disperso, seja pelo ar ou pela água, de acordo Teixeira; Silveira; Pimentel (2017)

Durante o carreamento realizado por ventos ou em meio aquoso, as partículas radioativas ficam sujeitas ao processo de deposição que pode ocorrer por diversas vias: sedimentação gravitacional, principalmente para partículas com diâmetro superior à 20 µm; arraste pluviométrico; impactação a objetos sólidos; e adsorção ou troca química (TEIXEIRA; SILVEIRA; PIMENTEL, 2017, p. 6).

Ainda nesse viés, segundo Rocha (2008) “ao ser disperso por via aérea, o Césio se deposita na superfície do solo e dos vegetais, podendo ser absorvido por estes últimos através das raízes, folhas e outras partes expostas” (ROCHA, 2008, p. 17). Devido a essas características do Césio, o acidente em Goiânia gerou grande quantidade de lixo radioativo, um volume total de 3.500 m³ de rejeitos radioativos, resultantes das demolições de residências, de objetos contaminados, corte de árvores, bem como da remoção de camadas do solo de três terrenos altamente contaminados (OKUNO, 2013).

Tendo em vista a apresentação de algumas características químicas e propriedades relacionadas ao Césio 137, à Radioatividade e sua importância, trataremos no próximo tópico uma revisão bibliográfica que nos ajuda a compreender e ratificar que não foi dada a devida importância ao acidente na formação de professores de Química no Brasil. Essa revisão bibliográfica foi realizada no sítio da Capes e das principais revistas nacionais, em que buscamos trabalhos que relacionam a formação de professores de Química com a temática Radioatividade, elemento central desta pesquisa de doutoramento.

2.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE QUÍMICA E A TEMÁTICA RADIOATIVIDADE: O QUE TEMOS PUBLICADO?

Com o objetivo de justificar o ineditismo dessa tese realizamos um levantamento bibliográfico no sítio da Capes, no banco de teses e dissertações, no sentido de identificar outras pesquisas com o mesmo viés, ou seja, que relacionam a formação de professores de Química com a temática Radioatividade. Entretanto, verificou-se que há uma escassez de trabalhos que fazem essa relação, pois foram encontradas apenas duas dissertações de mestrado, ambas da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), intituladas “Resolução de uma Situação-Problema

sobre a Radioterapia para a construção de conceitos de Radioatividade no Ensino Superior de Química” de Flávia Cristiane Vieira da Silva (2013) e “A Radioatividade Ambiental na Formação Inicial de Professores de Química na Perspectiva da Aprendizagem Significativa” de autoria de Roberta Maria da Silva (2017). A seguir discutiremos estes dois trabalhos.

Silva (2013) investigou, em sua dissertação de mestrado, as contribuições da resolução de uma situação problema para a construção de conceitos relacionados à Radioatividade no contexto da radioterapia, por meio da abordagem com elementos do Ensino Por Pesquisa. Com o objetivo de enriquecer as discussões sobre a temática da situação problema e propiciar condições dos licenciandos responderem a esta situação problema, a autora utilizou duas simulações, uma charge, aulas teóricas e um texto adaptado. A pesquisa foi realizada por meio de um minicurso com três encontros, sendo dois presenciais com duração total de 12 horas e um à distância com duração de 6 horas, com a participação de 21 alunos do 5º e 9º períodos do curso de licenciatura em Química da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, bem como de um professor desta instituição. Os instrumentos de coleta de dados utilizados foram vídeo com áudio e dados escritos.

Segundo a autora, a análise dos dados coletados mostrou que os licenciandos utilizaram as informações fornecidas pela proposta pedagógica no processo de construção do conhecimento, se mostraram satisfeitos em ter participado da pesquisa, motivados com o trabalho coletivo que foi desenvolvido, com a construção do conhecimento, além disso, foi relatado pelos participantes o despertar do interesse pela pesquisa. Dessa forma, a autora compreende que a construção de conceitos de Radioatividade por meio da construção de situações problema a partir de uma situação adaptada de um contexto real, se mostra uma boa alternativa, pois possibilita o desenvolvimento da temática e a construção do conhecimento sob diferentes pontos de vista e aspectos do conhecimento químico.

Uma informação que chama a atenção é que Silva (2013) também relata que um dos motivos que despertou nela o interesse pelo conteúdo Radioatividade, foi o fato de não ter estudado Radioatividade durante a sua graduação em licenciatura em Química e ter enfrentado, em decorrência disso, dificuldades ao precisar ensinar este conteúdo na educação básica, assim como ocorreu com a autora desta tese, conforme relatado na apresentação do presente texto. Isso evidencia que o problema da

ausência de discussões sobre Radioatividade nos cursos de licenciatura em Química, não é apenas local, e sim nacional.

A segunda dissertação de mestrado, de autoria de Silva (2017), investigou as possíveis contribuições para a formação de professores de Química de uma proposta pedagógica intitulada “Radioatividade Ambiental”, cujo foco era nos radionuclídeos naturais e artificiais presentes no meio ambiente. O objetivo da proposta é de ser um novo caminho para redimensionar o ensino de Radiatividade que, de acordo com a autora, fica muito centrado em cálculos e atividades nucleares e é marcado por uma visão negativa sobre a temática. Tal proposta foi aplicada na disciplina Prática Pedagógica no Ensino de Química I, do curso de licenciatura em Química da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Para fazer a investigação, foi solicitado aos participantes que construíssem mapas conceituais pré e pós-formação (três meses após a intervenção) e planos de aulas sobre Radioatividade. Como resultados, a autora salienta que a proposta formativa foi bem aceita pelos licenciandos, mas após a análise dos mapas conceituais observou-se a prevalência dos conceitos básicos sobre Radioatividade e poucas informações sobre os radionuclídeos. Apesar disso, a autora descreve que a formação trouxe modificações na formação de professores, uma vez que os sujeitos ampliaram a sua concepção sobre Radioatividade, além de superarem alguns equívocos conceituais que haviam sido identificados. Já em relação aos planos de aula, a análise mostrou que de modo geral eles mantêm certo diálogo com a proposta da Radioatividade Ambiental. A autora conclui dizendo que mesmo com as limitações encontradas, a proposta formativa mostra-se promissora para melhor conceituar e redimensionar os conceitos e as manifestações da Radioatividade enquanto conteúdo, podendo ser aplicada em cursos de formação de professores da área de Ciências Naturais.

Com a escassez de dissertações e teses na área de formação de professores de Química relacionados à temática Radioatividade, decidimos pesquisar artigos publicados nas principais revistas de ensino de Química e Ciências do Brasil, como: Química Nova, Química Nova na Escola, Revista Virtual de Química, Ciência e Educação, Alexandria, Revista da Sociedade Brasileira de Ensino de Química, Eclética Química, Investigação em Ensino de Ciências, Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, Revista Debates em Ensino de Química, Revista Brasileira de

Ensino de Química, Experiência em Ensino de Ciências, Revista Brasileira de Ensino de Ciências e tecnologia, Revista Brasileira de Pesquisa em Educação e Ciências, Revista Prática Docente, Revista Areté e Tchê Química. Não se delimitou espaço temporal para a pesquisa, por entendermos que todas as publicações são importantes, independente do ano e, dessa forma, as revistas foram pesquisadas na integralidade de suas publicações. Novamente a quantidade de trabalhos encontrados foi pequena, apenas cinco artigos envolvendo a formação de professores de Química e a temática Radioatividade, com o mostrado no Quadro 1. As poucas publicações existentes no contexto das revistas especializadas na área de Química e Ensino de Química ratificam a importância da nossa pesquisa com foco na discussão sobre Radioatividade e formação de professores de Química.

Quadro 1 - Artigos publicados nas revistas nacionais relacionando a temática Radioatividade com a formação de professores

Artigo	Autores	Título do artigo	Revista	Data de publicação
1	Silva, F. C. V.; Campos, A. F.; Almeida, M. A. V.	Concepções alternativas de licenciandos em Química sobre Radioatividade	Experiências em Ensino de Ciências	2013
2	Silva, F. C. V.; Campos, A. F.; Almeida	Situação problema sobre Radioatividade no Ensino Superior de Química: Contextos de uma investigação.	Experiências em Ensino de Ciências	2017
3	Silva, R. M.; Aquino, K. A. S.; Silva, S. A.	Concepções sobre Radioatividade envolvendo a Perspectiva Ambiental de licenciandos em Química	Alexandria	2019
4	Zapateiro, G. A.; Figueiredo, M. C.; Rocha, Z. F. D. C.; Jacinto, S.	Percepção de licenciandos em Química sobre o ensino de Radioatividade a partir da História da Ciência	Areté	2019
5	Zapateiro, G. A.; Figueiredo, M. C.	Elaboração e Aplicação de uma situação de Estudo a partir do conteúdo Radioatividade: em foco a formação inicial em Química	Revista Prática Docente	2020

Fonte: A autora.

Analisando o Quadro 1, identificamos que dos cinco artigos publicados na literatura, três deles, são recortes das pesquisas de mestrado apresentadas anteriormente, sendo os artigos 1 e 2 da autora Silva (2013) e o artigo três é resultado da pesquisa da autora Silva (2017), logo, não iremos discuti-los. Os outros dois artigos são resultados da pesquisa de Zapateiro e colaboradores, como apresentado a seguir.

Os autores Zapateiro, Figueiredo, Rocha e Jacinto (2019) realizaram uma pesquisa com treze alunos do curso de licenciatura em Química, bolsistas do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência - PIBID, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O objetivo da pesquisa foi planejar e aplicar uma intervenção didática do conteúdo Radioatividade com o enfoque na História da

Ciência, bem como investigar o que pesam os licenciandos sobre tal abordagem. A escolha do conteúdo ocorreu devido a não abordagem desta temática no curso analisado, o que foi criticado pelo autor devido à importância do tema.

Para desenvolver a pesquisa, os autores realizaram quatro encontros, num total de 15 horas, durante os quais os conceitos científicos sobre Radioatividade foram apresentados, utilizando-se para isso vários recursos didáticos, tais como: exibição de vídeos, fotos, figuras, exposição por meio do Power Point, perguntas para problematização e aplicação de um jogo didático. Ao final das discussões e apresentações, foi aplicado um questionário aberto contendo perguntas relacionadas às discussões feitas nos encontros. Os autores observaram que 31% dos licenciandos responderam que a abordagem histórica promove a aprendizagem do conteúdo, também para 31% o contexto histórico permite contextualizar o conteúdo Radioatividade e para 23% também permite entender a ciência como um processo em transformação.

Para Zapateiro *et al.* (2019), a pesquisa foi capaz de contribuir com a formação inicial docente dos licenciandos, permitindo-os adquirir conhecimentos acerca do processo histórico do desenvolvimento da ciência, neste caso, em relação a Radioatividade, além de despertar nos licenciandos a consciência da importância de se abordar os aspectos históricos envolvidos na construção de conteúdos científicos como forma de efetivar a aprendizagem de química durante a graduação.

Em outra publicação feita no ano de 2020, relacionada a mesma pesquisa realizada em 2019 e relatada anteriormente, Zapateiro e Figueiredo fizeram a inclusão de outros dados na análise e investigaram quais as possíveis contribuições da elaboração e aplicação de uma Situação de Estudo (SE) na formação inicial de professores por meio do conteúdo Radioatividade, com viés na abordagem histórico-social deste conteúdo. Buscaram responder a seguinte questão: “Quais impactos ocorrem na formação inicial de professores de Química quando se aplica uma Situação de Estudo do conteúdo Radioatividade a partir de seu contexto histórico-social?”.

Os autores, concluíram que a proposta proporcionou aos licenciandos novos saberes, que os auxiliariam na elaboração de aulas que relacionassem o saber cotidiano com o saber científico, uma vez que os próprios licenciandos

compreenderam que o desenvolvimento da ciência é permeado por vários fatores, desconstruindo assim, o conceito de ciência como algo pronto e acabado. Para Zapateiro e Figueiredo (2020) isso evidencia que a proposta colaborou com a formação inicial docente dos licenciandos.

Após conhecermos os trabalhos sobre a formação de professores de Química e a temática Radioatividade presentes na literatura brasileira, discutiremos no próximo capítulo um triste acontecimento envolvendo esta temática, o acidente radiológico ocorrido em Goiânia em 1987, com uma fonte contendo Césio 137. Para isso, detalharemos o contexto e as consequências deste acidente, bem como faremos uma leitura freireana do ocorrido.

NOTAS

a – Sal Duplo

Segundo Lee (1999, p. 99), sal duplo é um composto de adição formado quando quantidades estequiométricas de dois ou mais compostos estáveis são colocados em contato, e que perdem sua identidade em solução, permanecendo as propriedades dos íons.

b – Decaimento radioativo

O decaimento radioativo é um processo probabilístico. O cálculo do decaimento radioativo será explicado a seguir, segundo os autores Halliday; Resnick e Walker, 2014; Cardoso e Barroso, 2005.

Sabe-se que os núcleos instáveis se desintegram com o passar do tempo, no entanto não é possível prever se um dado núcleo de uma amostra radioativa estará entre os que decairão no segundo seguinte, mas é possível prever a taxa de decaimento de uma determinada quantidade de amostra. Considere-se uma amostra que contenha N núcleos de um determinado radionuclídeo, a taxa de decaimento dos núcleos é proporcional a N . Assim,

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N, \quad (1)$$

em que λ representa a constante de decaimento (ou constante de desintegração), cuja unidade é o inverso do segundo (s^{-1}). Cada radionuclídeo tem um valor diferente de λ . O sinal negativo em $-dN/dt$, chamada de atividade, representa que o número de átomos radioativos N está diminuindo com o tempo. Separando as variáveis da equação 1, conseguimos determinar N em função do tempo t .

$$-\frac{dN}{N} = \lambda dt, \quad (2)$$

Integrando a equação 2, do número inicial de átomos ao número final, e do tempo inicial a um instante t , temos:

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_{t_0}^t dt$$

$$\ln N - \ln N_0 = -\lambda(t - t_0) \quad (3)$$

Em que N_0 é o número de núcleos radioativos em um instante inicial arbitrário t_0 . Se $t_0 = 0$ e reorganizando a equação temos:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \quad (4)$$

Fazendo a exponencial de ambos os lados, temos:

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \quad \text{ou}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (5) \quad \text{Equação do decaimento radioativo}$$

Onde N_0 é o número de núcleos radioativos no instante $t = 0$ e N é o número de núcleos que restam na amostra em um instante $t > 0$. Esta equação expressa o número de átomos N radioativos na amostra num instante de tempo t , se a amostra continha N_0 átomos em $t = 0$, é a chamada lei do decaimento radioativo.

Agora, se o interesse for na taxa de decaimento R , teremos:

$$R = -\frac{dN}{dt} \quad (6)$$

Derivando a equação 5 em relação ao tempo, temos

$$R = \frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad \text{ou}$$

$$R = R_0 e^{-\lambda t} \quad (7) \quad \text{decaimento radioativo}$$

Onde R_0 é a taxa de decaimento no instante $t = 0$ e R é a taxa de decaimento em um instante $t > 0$. Assim, podemos escrever a equação 1 em termos de decaimento R da amostra:

$$R = \lambda N$$

A soma das taxas de decaimento R de todos os radionuclídeos presentes em uma amostra é chamada de atividade da amostra, e é dada em Becquerel: 1 becquerel = 1Bq = 1 decaimento por segundo.

c – Meia-vida

Segundo Halliday, Resnick e Walker (2014) a meia-vida ($T_{1/2}$) de um radionuclídeo é o tempo necessário para que R e N caiam a metade do valor inicial. Vamos usar a equação 7 deduzida no item b, para determinar a relação entre $T_{1/2}$ e a constante de desintegração λ , para isso fazemos $R = R_0/2$ e substituímos t por $T_{1/2}$ nesta equação.

$$\frac{1}{2}R_0 = R_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \quad (8)$$

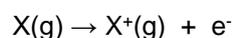
Fazendo o logaritmo natural de ambos os lados e evidenciando $T_{1/2}$, temos:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (9) \quad \text{Meia-vida}$$

Através dessa fórmula calcula-se o tempo de meia-vida de um radionuclídeo.

d – Energia de Ionização

Energia de Ionização é a energia necessária para arrancar um elétron de um átomo na fase gás, geralmente é expressa em elétron-volts (eV) e pode ser representada pela equação a seguir (ATKINS; JONES, 2012).



O valor da energia de ionização de um elemento depende de alguns fatores, dentre eles do raio atômico. Geralmente elementos com maior raio atômico possuem menores valores de energia de

ionização. O Césio, por ser um elemento químico que possui um raio atômico relativamente grande, possui baixo valor de energia de ionização, formando íon facilmente.

CAPÍTULO 3 – O BRILHO DA MORTE QUE ENCANTOU OS GOIANOS

Em 1987, ocorreu em Goiânia, a capital do estado de Goiás, o maior acidente radiológico do mundo. Para compreendê-lo é necessário conhecer o contexto histórico que levou a esse desfecho triste. Contaremos um pouco dessa história neste capítulo.

Durante alguns anos funcionou no centro da cidade de Goiânia, entre as avenidas Tocantins e Paranaíba, o Instituto Goiano de Radioterapia (IGR), em um prédio emprestado pela Santa Casa de Misericórdia (VASCONCELOS, 2019). Segundo Vieira (2013),

Como contrapartida do empréstimo do terreno, o Instituto deveria oferecer exames gratuitos aos pacientes da Santa Casa de Misericórdia de Goiânia sob a administração daquela Sociedade. A Santa Casa de Misericórdia alegou descumprimento do acordo por parte do IGR e, no ano 1984, decidiu vender o terreno para o Instituto de Previdência e Assistência do Estado de Goiás (IPASGO) antes que fosse efetivada a ação de despejo dos antigos locatários, donos do IGR. Somente no ano seguinte, o Instituto de Radiologia se mudaria para um novo endereço deixando para trás os mobiliários e equipamentos antigos, entre os quais havia um aparelho radiológico contendo uma cápsula de céσιο-137. Nos dois anos seguintes, caberia à justiça o papel de administrar o conflito entre o antigo, o novo proprietário do imóvel e o IGR. No mês de maio de 1987, o IPASGO, novo dono do imóvel, iniciou a demolição do prédio. Todavia, uma liminar judicial o obrigou a interromper a destruição (VIEIRA, 2013, p. 217).

Esse prédio em ruínas (Figura 11) ficou então abandonado e aberto. Porém, dentro dele havia um aparelho de radioterapia (Figura 12) modelo CESAPAN F-300, que continha uma cápsula com aproximadamente 20 g de cloreto de Césio 137, um sal radioativo, azul brilhante e solúvel em água (OLIVEIRA *et al.*, 2000; VASCONCELOS, 2019). Tal cápsula estava protegida por uma grossa camada de chumbo, para vedar a radiação que na época era de 1375 *Curies* ($5,0875 \times 10^{13}$ Bq) (BORGES, 2003).

Figura 11 – Ruínas do Instituto Goiano de Radioterapia



Fonte: Okuno (2013, p. 195).

Figura 12 – Partes do aparelho de radioterapia que continha a cápsula de Césio 137



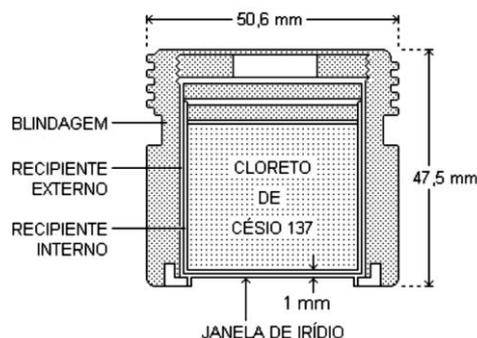
Fonte: IAEA <https://www.iaea.org/newscenter/multimedia/photoessays/global-schoolhouse-rua-6> e <https://www.saude.gov.br/cesio137goiania>.

No dia 13 de setembro de 1987, dois catadores de materiais recicláveis, Wagner Mota Pereira e Roberto Santos Alves, adentraram às ruínas do prédio e encontraram o aparelho de radioterapia abandonado (OKUNO, 2018). Desmontaram-no, retiraram a peça de chumbo e levaram para a casa de Roberto, na rua 57, no Centro de Goiânia. Para transportar o metal, utilizaram um carrinho de mão (VIEIRA, 2013). Fizeram isso porque viram a possibilidade de ganhar dinheiro, vendendo o chumbo presente em parte do aparelho, o que fica evidente nas imagens e falas dos jovens, mostradas no filme CÉSIO 137 – O Pesadelo de Goiânia (1991), o qual retrata o acidente a partir de depoimentos das próprias vítimas. Por exemplo, Roberto ao manipular a peça diz: “trem mais pesado sô, um chumbaço memo”, com expressão de alegria no rosto, posteriormente, o mesmo jovem fala “Oh chumbaço! Tem mais de 150 quilos” (CÉSIO 137 – O Pesadelo de Goiânia, 1991, 4min46s e 5min55s).

A possibilidade de ganhar dinheiro desses personagens reais, evidencia a relação de classes sociais, que Paulo Freire aborda no livro *Pedagogia do Oprimido*, no qual ele denomina de opressores a elite e de oprimidos a classe popular, essa última aqui representada pelos catadores, pessoas de baixa renda exploradas por uma minoria opressora, dessa sociedade capitalista (FREIRE, 2011a). Importante destacar que os catadores de material reciclável são vistos constantemente nas grandes cidades e se constituem como trabalhadores na informalidade sem nenhum direito em termos salariais, de previdência ou de saúde. Invisíveis ao poder público, esse grupo de pessoas, na maioria das vezes vive abaixo da linha da pobreza.

Levaram então a peça para a casa simples de Roberto na Rua 57, onde havia seis famílias morando no mesmo lote, e lá eles desmontaram a peça de chumbo (ROCHA, 2008). De dentro da peça, retiraram um recipiente de aço inoxidável que possuía um pequeno orifício vedado e que, no seu interior, continha o sal de Césio 137. Segundo Alves (1988, p. 5), “Wagner, usando ferramentas inadequadas, conseguiu romper a janela de irídio de 1mm de espessura da fonte de césio” (Figura 13) e, a partir desse momento, pessoas e objetos começam a serem irradiados e contaminados pelo Césio 137, seja pela exposição ao material radioativo, seja pela água, solo, frutos e hortaliças contaminadas (ROCHA, 2008).

Figura 13 – Representação da fonte contendo o cloreto de Césio 137



Fonte: Palandi *et al.* (2010, p. 33).

Pessoas essas, que tinham um total desconhecimento do que era aquela cápsula, que não tinham a menor noção do que estava acontecendo e do risco de morte que estavam correndo. O primeiro a apresentar sintomas de contaminação/irradiação foi Wagner, que teve diarreia, vômito, tontura, queimaduras nas mãos, entre outros sintomas (ALVES, 1988).

Alguns dias depois, os dois jovens venderam pelo equivalente a US\$ 25, o chumbo para o ferro velho do Devair, que ficava na rua 26-A, no Setor Aeroporto e deixando lá a cápsula contendo o cloreto de Césio 137 (OKUNO, 2018). Parte do chumbo foi vendido a dois outros ferros velhos, localizados nas ruas 6 do Setor Norte Ferroviário e P-19 no Setor dos Funcionários respectivamente, no entanto a cápsula continuou com Devair (ALVES, 1988; OLIVEIRA JUNIOR, 2016).

Foi Devair quem descobriu, por um acaso, que aquela peça emitia uma luz azul brilhante, ficando encantado com o tal fenômeno, assim como o casal Curie, no século XIX. Ele passou então, a mostrar e também a distribuir o pó para várias pessoas, principalmente seus familiares e amigos (OKUNO, 2018; SCHUMANN; BERWING, 2019). O seu irmão Ivo Alves Ferreira, morador do setor Norte Ferroviário, foi à casa de Devair o qual não só mostrou, como também o presenteou com uma pequena porção do pó brilhante misterioso. Ivo levou o pó para casa e mostrou para a sua família, bem como permitiu que sua filha de 6 anos, Leide das Neves, brincasse com ele. Essa criança então ingeriu o pó, ao se alimentar com as mãos sujas do material, se contaminando com o Césio 137 (ALVES, 1988; OLIVEIRA JUNIOR, 2016; SHUMANN; BERWIG, 2019).

O fascínio de Devair pela luz era tanto, que ele guardava a cápsula dentro da sua casa. Assim, com o passar dos dias, as pessoas que tiveram contato com o material brilhante começaram a passar mal, como os dois funcionários do ferro-velho, Admilson e Israel, bem como o próprio Devair, sua esposa Maria Gabriela, entre outras. Outro fato que assustou as pessoas foi que os animais domésticos da família, como o passarinho de estimação, começaram a morrer (ALVES, 1988; SHUMANN; BERWIG, 2018).

Diante de tal situação, Maria Gabriela começa a desconfiar que a responsável por todos os fatos que estavam acontecendo, era aquela peça que emitia uma luz azul brilhante. Resolve então, levá-la de ônibus até a Vigilância Sanitária, com a ajuda de Geraldo Guilherme da Silva, um funcionário do ferro velho, o percurso feito durou cerca de 15 minutos (OLIVEIRA *et al.*, 2000). Chegando lá colocaram a peça sobre a mesa de um dos funcionários e Maria Gabriela avisou “meu povo está morrendo”, como não havia ninguém qualificado para identificar aquela peça, ela foi deixada em

uma cadeira (Figura 14) colocada na parte externa do prédio, para posterior análise (CHAVES, 1998). Isso ocorreu no dia 28 de setembro de 1987.

Figura 14 – A peça contendo o Césio 137 em uma cadeira na Vigilância Sanitária



Fonte: <http://transparencianuclear.blogspot.com/2012/02/>.

Somente no dia seguinte, foi que o Físico Walter Mendes identificou que se tratava de uma fonte de material radioativo, comunicou o Secretário de Saúde Antônio Faleiros e então o acidente foi oficialmente comunicado à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Essa demora fez com que o acidente tivesse maiores proporções, uma vez que o material radioativo já havia se espalhado e contaminado além das pessoas, animais, objetos, casas, carros, entre outros. Logo uma das primeiras tarefas dos técnicos da CNEN foi encontrar o Césio que havia se espalhado, uma vez que este composto estava na forma de pó (ALVES, 1988).

Ao todo foram identificados sete pontos principais de contaminação na cidade de Goiânia, nos setores Central (Rua 57, casa 68; Rua 63, casa 179), Aeroporto (Rua 17-A, Quadra 70, Lote 26B; Rua 26-A, Quadra Z, Lote 30; Rua 16-A, n 792), Norte-ferroviário (Rua 6, Quadra Q, Lote 18) e dos Funcionários (Rua P-19, Quadra 92, Lote 4) (ALVES, 1988), conforme mostra a Figura 15. Esses locais correspondem aos ferros velhos denominados de I, II e III por onde peças contaminadas do aparelho de radioterapia foram comercializadas, o prédio da Vigilância Sanitária e as residências de algumas vítimas e seus familiares que de alguma forma tiveram contato com o Césio 137 (CHAVES, 1998).

Figura 15 – Os sete locais principais que foram contaminados com o Césio 137 em Goiânia



Fonte: A autora a partir de adaptações do Google Maps.

Na época do acidente, Goiânia possuía uma população de aproximadamente 900 mil habitantes e cerca de 112 mil pessoas foram monitoradas (Figura 16). Destas, 249 apresentaram alto grau de contaminação, sendo 120 com contaminação apenas no vestuário e calçados, 129 com contaminação interna e/ou externa. Do total 20 pessoas tiveram que receber tratamento médico em nível hospitalar e 4 vieram a óbito: Maria Gabriela, 38 anos, esposa de Devair, que ficou vários dias com a peça dentro de sua casa e foi quem levou a peça até a vigilância sanitária, permitindo que o acidente fosse descoberto; Admilson (18 anos) funcionário do ferro velho de Devair; Israel (22 anos) também funcionário do ferro velho e Leide das Neves, sobrinha de Devair e filha de Ivo (ALVES, 1988).

Figura 16 – A população de Goiânia sendo monitorada em busca de pessoas contaminadas

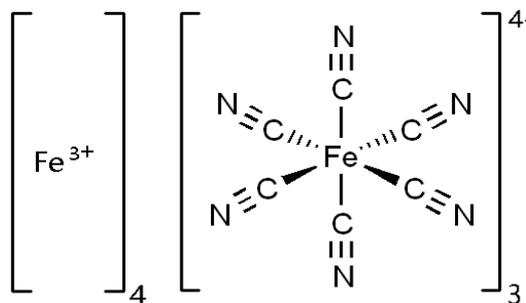


Fonte: <https://www.opopular.com.br/noticias/cidades/trf-determina-prazo-para-processos-de-pens%C3%A3o-de-v%C3%ADtimas-do-c%C3%A9sio-137-1.662915>.

Leide se tornou o símbolo do acidente por ser uma criança de apenas seis anos, que foi contaminada inocentemente ao brincar com o Césio 137. As primeiras mortes registradas foram de Leide das Neves e de Maria Gabriela que ocorreram no dia 23 de outubro de 1987. Já no dia 27 de outubro de 1987 faleceu Israel e no dia seguinte Admilson, ou seja, cerca de um mês após a descoberta do acidente já haviam vítimas fatais, tamanha era a contaminação e/ou exposição à radiação (ALVES, 1988).

Todas as mortes ocorreram no Hospital Naval Marcílio Dias (HNMD), no Rio de Janeiro, local para onde as vítimas mais graves foram levadas e lá permaneceram internadas, uma vez que esse hospital era, e ainda é, referência no tratamento de vítimas de acidentes radioativos/radiológicos. No total, foram levadas para lá 14 pessoas vítimas do acidente ocorrido em Goiânia, as quais receberam tratamento médico especializado, passaram pelos processos de descontaminação externa e interna, que envolveram entre outros procedimentos, banhos longos, sudorese excessiva, aplicação de pasta de dióxido de titânio e a ingestão do medicamento Azul da Prússia, o tris-hexacianidoferro(II) de ferro (III) ($\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$) (Figura17), também conhecido como ferrocianeto férrico (OLIVEIRA *et al.*, 2000; ROCHA, 2008).

Figura 17 – Fórmula estrutural do Azul da Prússia



Fonte: A autora.

O Azul da Prússia é utilizado para a eliminação mais rápida de alguns elementos do organismo devido a suas características, é um sal de baixa toxicidade, insolúvel em água, capaz de capturar por troca iônica o Césio radioativo presente no intestino da vítima, formando um complexo estável, impedindo que o Césio seja reabsorvido pelo corpo, reduzindo assim a sua quantidade no organismo, uma vez que este passa a ser eliminado também pelas fezes (BERNADES, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2000; ROCHA, 2008; RUELA *et al.*, 2016). O uso desse medicamento foi muito importante no processo de descontaminação das vítimas, que foram monitoradas constantemente como forma de verificar a diminuição do nível de Césio em cada uma delas.

As primeiras vítimas chegaram ao HNMD no dia 01 de outubro de 1987 e as últimas vítimas deixaram esse hospital em 10 de dezembro de 1987. Além das mortes, houve sérias consequências para os sobreviventes, como por exemplo, a amputação do antebraço direito de Roberto dos Santos Alves, um dos catadores de material reciclável que subtraiu a peça do prédio em ruínas, sequelas permanentes e problemas de saúde em outras vítimas (ALVES, 1988).

Outras vítimas foram mantidas em tratamento em Goiânia no hospital do Instituto Nacional de Assistência Médica da Previdência Social (INAMPS) e algumas consideradas de menor gravidade foram internadas na Fundação Estadual para o Bem Estar do Menor (FEBEM), a qual foi transformada temporariamente em hospital (VIEIRA, 2013; ALVES, 1988).

Enquanto os radioacidentados recebiam tratamento, uma força tarefa composta por funcionários da CNEN, polícia militar, defesa civil e Consórcio Rodoviário Intermunicipal (CRISA) trabalhavam incansavelmente em Goiânia nas

áreas contaminadas, seja isolando-as (Figura 18), fazendo descontaminação e demolição das casas (Figuras 19 e 20), arrancando árvores, removendo a camada superficial do solo, fazendo guarda nos focos de contaminação para evitar que as pessoas entrassem, ou mesmo trabalhando no transporte do lixo radioativo. É importante ressaltar que esses profissionais não tinham treinamento para lidar com esse tipo de acidente (ALVES, 1988).

Tudo isso gerou cerca de 6.000 toneladas de lixo radioativo que foram colocados em 4.223 tambores de metal (Figuras 21 e 22), 1.347 caixas metálicas, levadas para um depósito provisório e posteriormente acondicionadas no depósito definitivo (Figuras 23 e 24). A escolha do local para a construção do depósito definitivo foi feita levando em consideração a norma da CNEN NE 6.06 (1985). Inicialmente foram selecionados três locais com potencial para abrigar o depósito, localizados nas cidades de Jandaia, Indiara e Abadia de Goiás. A última cidade foi a escolhida para abrigar definitivamente os resíduos do acidente (PEREIRA, 2005).

Além do depósito, funciona no mesmo local, em Abadia de Goiás (GOIÁS, 2012), o Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro Oeste (Figura 25), que desenvolve estudos, pesquisas, formação técnica e divulgação de informações na área nuclear (BORGES, 2003). Os trabalhos em Goiânia duraram cerca de 3 meses, incluindo todo o processo de descontaminação, demolição e remoção dos rejeitos. Mas o monitoramento das áreas permanece até os dias atuais.

Figura 18 – Isolamento da área contaminada com o Césio



Fonte: <https://www.opopular.com.br/noticias/cidades/an%C3%A1polis-n%C3%A3o-sediou-base-de-quarentena-do-c%C3%A9sio-137-1.1986375>.

Figura 19 – Demolição de casas e remoção da camada superficial do solo



Fonte: CNEN.

Figura 20 – Demolição de casas contaminadas



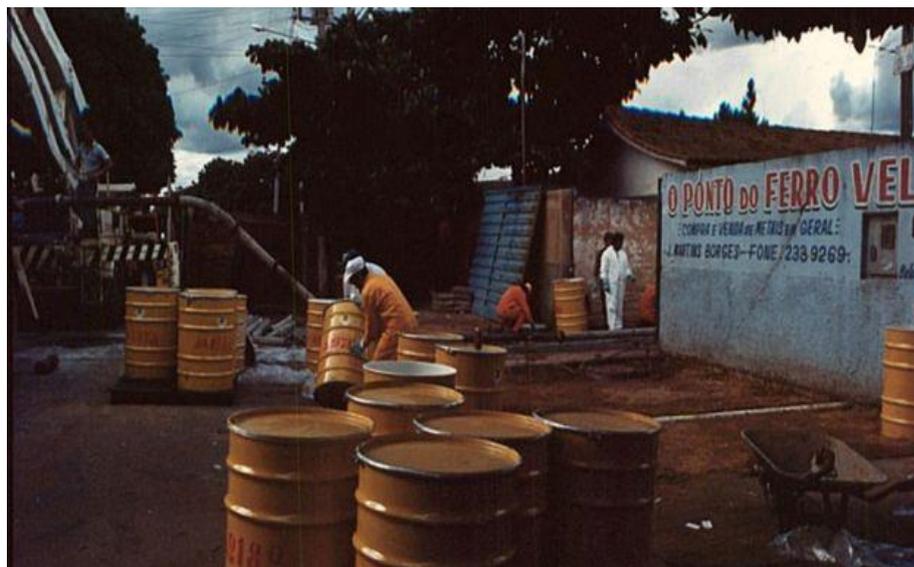
Fonte: <http://g1.globo.com/goias/fotos/2012/09/veja-fotos-da-epoca-do-acidente-com-o-cesio-137-em-goiania.html#F563582>.

Figura 21 – Acondicionamento dos rejeitos radioativos em tambores



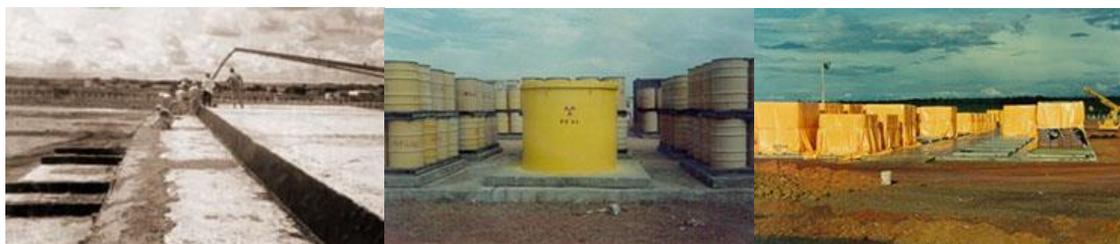
Fonte: <http://g1.globo.com/goias/fotos/2012/09/veja-fotos-da-epoca-do-acidente-com-o-cesio-137-em-goiania.html#F563582>.

Figura 22 – Tambores contendo lixo radioativo



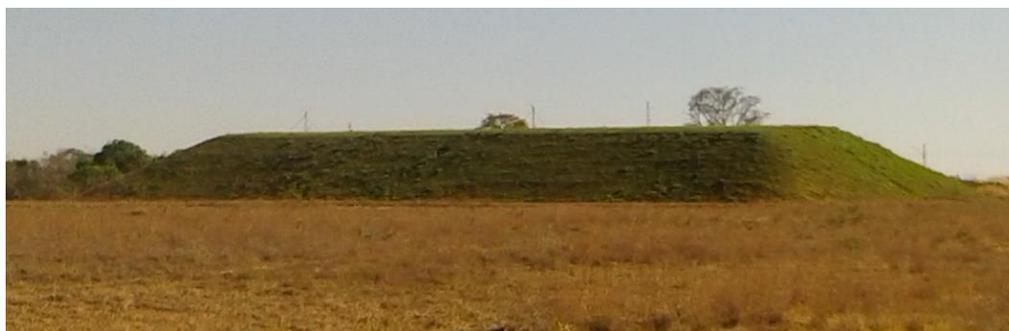
Fonte: CNEN.

Figura 23 – Construção do depósito definitivo para armazenar os rejeitos do Césio 137



Fonte: CNEN.

Figura 24 – Local onde parte dos rejeitos do Césio 137 estão armazenados



Fonte: A autora.

Figura 25 – Sede administrativa do depósito definitivo dos rejeitos oriundos do acidente com o Césio 137



Fonte: A autora.

Ao mesmo tempo, que as vítimas eram tratadas e alguns locais de Goiânia descontaminados, a população era informada através da mídia local e nacional sobre Césio 137, Radioatividade e seus efeitos (Figura 26). A partir daí, palavras que antes eram usadas por um grupo específico de pessoas, principalmente por técnicos e cientistas, passaram a ser vinculadas constantemente pela imprensa (CHAVES, 1998). Muito provavelmente, para a maioria das pessoas, era a primeira vez que ouviam tais palavras.

Figura 26 – Manchetes de jornais locais e nacionais sobre o acidente com o Césio 137



Fontes: <https://www.opopular.com.br/noticias/cidades/o-popular-77-anos-de-hist%C3%B3ria-e-inova%C3%A3o-constante-1.819092>

<https://acervo.estadao.com.br/noticias/acervo,pesadelo-nuclear-em-goiania,7136,0.htm>

<https://acervo.estadao.com.br/pagina/#!/19871010-34546-nac-0001-999-1-not.>

Segundo Borges (2003, p. 57) “Todos queriam saber o significado de Césio 137, discutia-se o assunto nos bares, cafés e universidades”. Logo, fica evidente que a população de modo geral, estava ávida por compreender o que de fato estava ocorrendo em Goiânia e qual era a periculosidade daquele tal Césio 137. Isso reflete uma falta de conhecimento científico e uma má formação das pessoas de modo geral, que muito provavelmente não estudaram durante a sua educação básica, o tema Radioatividade.

Como podemos observar, na época, se até as pessoas nas universidades não tinham conhecimento sobre Radioatividade, o que esperar daquelas que estavam diretamente relacionadas com o acidente. Essa falta de conhecimento científico também era a realidade dos catadores e das demais pessoas envolvidas no acidente uma vez que estes pertenciam à classe popular, que historicamente tem menos oportunidades de estudar.

Isso fica claro em algumas falas do filme CÉSIO 137 – O pesadelo de Goiânia (1991). Em uma delas Roberto diz, quando Wagner tenta colocar fogo no sal de Césio 137: “[...] o troço não queima” (CÉSIO 137, 1991, 10min05s). Em outro momento, ao olhar pelo orifício da peça que continha o sal de Césio e ver uma luz brilhante, Devair diz “Coisa mais interessante, deve ter uma bateria aí dentro” (CÉSIO 137, 1991, 24min07s). Esses dois momentos ilustram que eles não tinham a menor noção do que

era aquele pó, muito menos conhecimentos mínimos sobre Radioatividade, materiais radioativos e Césio, mostrando assim que o acidente de Goiânia foi também social, evidenciando a falta de acesso das camadas populares ao conhecimento, uma característica da separação de classes sociais em que as camadas mais pobres têm menos acesso à escola de qualidade e aos conhecimentos veiculados por esta instituição.

Essa falta de conhecimento das pessoas da classe popular é própria do processo educacional existente na sociedade brasileira, a qual possuía, e ainda possui, uma educação de classe, pensada pela elite e para a elite, o que Paulo Freire chama de educação bancária, a qual vê o educando como um depósito a ser enchido com conhecimento e não como um ser inconcluso que deve participar ativamente de seu processo de aprendizagem junto com o educador.

Segundo Paulo Freire “Só existe saber na invenção, na reinvenção, na busca inquieta, impaciente, permanente, que os homens fazem no mundo, com o mundo e com os outros” (FREIRE, 2011a, p. 81). Dessa forma, fica clara a formação deficitária que essas pessoas receberam, e a necessidade de uma intervenção efetiva da escola, dos educadores e dos homens em conjunto, para que seja possível transformar essa sociedade opressora em que vivemos, proporcionando às pessoas da classe popular o acesso ao conhecimento científico.

Entende-se que, caso o conhecimento científico básico fosse acessível às pessoas no contexto escolar, acidentes como o de Goiânia poderiam ser evitados, ou não teriam consequências tão drásticas. Era de se esperar que houvesse uma educação de qualidade, com viés problematizador e libertador, que alfabetizasse cientificamente os alunos desde os primeiros anos da escolarização, e que pudesse proporcionar às pessoas a construção de significados a partir dos conhecimentos escolares. O conhecimento, construído dessa forma, permitiria aos sujeitos agir e transformar o mundo em que vivem, uma vez que eles seriam alfabetizados cientificamente.

Outro fato, evidencia que a falta de conhecimento científico não é um problema apenas local, mas sim nacional, quiçá até internacional. Como o acidente ficou conhecido nacional e até internacionalmente na época, os goianos passaram a ser discriminados quando saíam do estado de Goiás, bem como os produtos produzidos

aqui. Dessa forma, os produtores encontravam dificuldades para vendê-los em outras regiões, prejudicando assim a economia do estado. Isso ocorreu porque as pessoas tinham medo de serem contaminadas pelo Césio, pois achavam que qualquer um ou todo produto que fosse de Goiás estaria contaminado, tal fato ratifica que o problema da falta de uma formação adequada na educação básica ocorre no Brasil como um todo (BORGES, 2003; VIEIRA, 2013; MOREIRA, 2020).

Outro ponto que merece destaque por estar relacionado a essa leitura freireana do contexto histórico do acidente em Goiânia, é o compromisso do homem e do profissional com a sociedade. No primeiro caso o compromisso exige ação e reflexão do homem com a realidade em busca da transformação do mundo, em busca da humanização. Já em relação ao compromisso profissional com seu conhecimento técnico, especializado, este deveria se unir ao compromisso do homem em busca da práxis. No entanto o próprio Paulo Freire critica que o compromisso profissional pode se dicotomizar do compromisso como homem, não se comprometendo verdadeiramente com a realidade (FREIRE, 2006a).

Na leitura dos fatos históricos sobre o acidente radiológico de Goiânia, pode-se fazer uma análise relacionada ao pensamento freireano, considerando-se que não houve compromisso verdadeiro dos profissionais médicos e proprietários do IGR para com a sociedade. Tal entendimento decorre do fato de que eles eram os detentores do conhecimento técnico e mesmo assim, deixaram conscientemente um aparelho contendo uma fonte radioativa, a qual utilizada de forma inadequada, poderia ser letal – como foi –, em um prédio abandonado. Os médicos em questão, só estavam comprometidos consigo mesmos e com seus interesses, deixando à mercê da população um perigo iminente.

Enfatiza-se novamente que provavelmente o acidente não teria ocorrido se as pessoas que tiveram acesso ao material possuísem conhecimentos sobre os perigos causados pela manipulação de material radioativo e se tivesse havido o diálogo e o compromisso, como homens e como profissionais, entre as pessoas envolvidas na situação conflituosa do empréstimo do prédio.

No entanto, nenhuma das duas coisas aconteceu, pois as pessoas da classe desfavorecida que acessaram o material não tinham conhecimento suficiente para entender tais perigos que pode causar a Radioatividade, mesmo tendo o símbolo

impresso no material, e os envolvidos na disputa entre a Santa Casa e o IGR, pessoas esclarecidas, não tiveram compromisso social e, visando não ter despesas, negligenciaram os devidos cuidados ao equipamento que causou enormes danos às pessoas, ou seja, “são pessoas do ter e não do ser” (FREIRE, 2011a, p. 63).

Assim, analisando o contexto em que ocorreu o acidente, ficam evidentes desde o início da narrativa, as características de uma sociedade opressora, configurada pela ganância da elite dominante, que busca sempre a maximização dos lucros, o desprezo e o descaso que possuem para com os oprimidos, desde quando o IGR não cumpre com o acordo de fazer exames gratuitos aos pacientes da Santa Casa, que eram pessoas, na sua maioria, de baixa renda, até o abandono do material perigoso em um local sem os devidos cuidados.

Para essa elite, somente eles são pessoas humanas e têm direitos (FREIRE, 2011a). São incapazes de enxergar o outro, de dialogar com o outro, não só com os oprimidos, mas também com seus pares, o que se pode notar com o surgimento dos conflitos entre as elites dominantes, como no caso da posse do prédio do IGR. Segundo Paulo Freire “o diálogo deve ser entendido como algo que faz parte da própria natureza histórica dos seres humanos” (FREIRE; SHOR, 1986, p. 64). O diálogo é reflexão e não só comunicação. Se tivesse havido diálogo entre o proprietário do prédio, o IGR e a Santa Casa, muito provavelmente eles teriam resolvido o conflito estabelecido entre eles, e o acidente poderia ter sido evitado.

Além das relações de classe e da falta de compromisso de alguns profissionais, o acidente expôs problemas relacionados ao poder público. Entre eles, falhas ou mesmo negligência quanto à fiscalização dos aparelhos que usavam fontes radioativas (POZZOBOM, 2018). O órgão responsável pela fiscalização de bombas de Césio 137 é a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), a qual foi criada em 1956, muito antes do acidente acontecer (HELOU; NETO, 2014). Segundo Gabeira (sd) “[...] a última pessoa que inspecionou a bomba de Césio em nome da CNEN foi um físico chamado João Emílio. Isso ocorreu em 1977, dez anos antes do acidente” (GABEIRA, F. sd, p. 2).

Compreendemos que passou muito tempo entre a última vistoria e o acidente, talvez se as vistorias ocorressem com uma certa frequência, isto não teria acontecido, pois o fiscal não permitiria que tal bomba fosse abandonada em uma construção em

ruínas num terreno aberto e tomaria as medidas cabíveis para a remoção do equipamento do local, uma vez que era uma pessoa qualificada e sabia dos riscos eminentes que tal equipamento trazia, o que poderia ter impedido que o acidente acontecesse.

Outra questão polêmica e que merece destaque sem, no entanto, aprofundar no assunto, é sobre a responsabilidade do ocorrido. Na ocasião do acidente radiológico, em 1987, já existiam leis que delimitavam responsabilidades em relação as questões nucleares como, a Lei n. 6.453 de 17 de outubro de 1977, que dispõe sobre a responsabilidade civil e criminal sobre atos e danos relacionados a atividades nucleares, em seu capítulo III, no Artigo 26 diz que quem “Deixar de observar as normas de segurança ou de proteção relativas à instalação nuclear ou ao uso, transporte, posse e guarda de material nuclear, expondo a perigo a vida, a integridade física ou o patrimônio de outrem” (BRASIL, 1977, p. 4) será punido com pena de reclusão, de dois a oito anos.

Na época do acidente ocorrido em Goiânia, essa lei foi questionada quanto a sua aplicabilidade, pois esta tratava especificamente de atividades e materiais radioativos utilizados nas usinas nucleares. Assim, as penalidades e responsabilidades civil e criminal previstas na lei, não poderiam ser utilizadas no caso do acidente em questão, pois o radioisótopo Césio não é considerado material nuclear destinado às usinas. E para esses materiais não havia legislação específica (SOARES, 1997; POZZOBON, 2018).

Mesmo diante desse embate, após vários anos do ocorrido, algumas pessoas foram responsabilizadas criminalmente e punidas. Foram condenados à prisão em 1996 os médicos responsáveis pelo IGR Orlando Teixeira, Criseide de Castro e Carlos Bezerrilos, o físico que prestava serviço de consultoria para o IGR, Flamarion Goulart e o dono do prédio Amaurillo Monteiro de Oliveira (SOARES, 1997; POZZOBON, 2018). No entanto, todas as penas foram convertidas em trabalhos comunitários e depois extintas por indulto presidencial (POZZOBON, 2018).

Além dessas condenações houve também uma ação civil pública proposta pelo Ministério Público. Em março de 2000 o IPASGO, Flamarion e Amaurillo foram condenados a pagar R\$ 100 mil reais de indenização, que foram revertidas ao Fundo de Defesa dos Direitos Difusos. Já a CNEN foi condenada a pagar uma indenização

de um milhão de reais também ao Fundo de Defesa dos Direitos Difusos, bem como garantir monitoramento epidemiológico e tratamento as vítimas (GRASSI; QUEIROZ; FERRARI, 2015; POZZOBON, 2018). Para Pozzobon (2018),

[...] a condenação advinda da ação civil pública se mostrou irrisória e insuficiente para as consequências e proporção do incidente. No mais, as pessoas jurídicas Instituto Goiano de Radioterapia (IGR), CNEN, União, Estado de Goiás, Ipasgo, Santa Casa sequer foram investigadas, quiçá responsabilizadas penalmente pela prática dos delitos (POZZOBON, 2018, p. 194).

Diante do exposto, entendemos que quem realmente foi punido, foram os populares, vítimas inocentes do acidente, que sofreram, sofrem e sofrerão as consequências desse triste acontecimento. Após um acidente dessas proporções era de se esperar que lições fossem aprendidas e mudanças realizadas. Em nível internacional, o acidente de Goiânia contribuiu para a criação de uma escala de acidentes, pois segundo Okuno (2013),

A Agência Internacional de Energia Atômica desenvolveu a partir de 1990 a International Nuclear Events Scale (INES) com o propósito de comunicar ao público de maneira clara e direta a gravidade de eventos em usinas nucleares e posteriormente estendida a todos os eventos associados ao transporte, armazenamento e uso de material radioativo e fontes de radiação. Os eventos são classificados em escala logarítmica, similar à escala de terremotos, de 1 a 7. Os níveis de 1 a 3 são designados incidentes e os níveis de 4 a 7, acidentes, dependendo do grau de contaminação radioativa e exposição do público e do ambiente à radiação. São considerados acidentes quando houver pelo menos uma morte por radiação. [...] O acidente de Goiânia em 1987 com uma fonte de Cs-137, parte de um equipamento de radioterapia, foi classificado pela INES como de nível 5 (OKUNO, 2013, p. 194).

Essa escala é importante e deve ser utilizada como forma de alerta à população e às autoridades competentes, para que as medidas cabíveis sejam providenciadas de acordo com o nível do acidente ocorrido.

No Brasil, após o acidente esperava-se que houvesse modificações significativas nas normas que regem o uso e o descarte de materiais radioativos, tornando-as mais específicas, claras e rígidas. De fato, algumas modificações aconteceram ao longo dos anos considerando-se que, desde 1987, várias normas foram criadas. Hoje temos normas específicas que devem ser seguidas para Controle

de Materiais Nucleares, Proteção Física, Proteção Contra Incêndio, Instalações Nucleares e Radioativas, Proteção Radiológica, Materiais, Minérios e Minerais Nucleares, Transporte de Materiais Radioativo, Certificação e Registro de Pessoas e Rejeitos Radioativos (CNEN, sd). Assim, podemos dizer que houve alguns avanços nessa área.

Transcorridos mais de 30 anos do acidente, as vítimas continuam sofrendo as suas consequências, sejam físicas ou psicológicas, e como compensação pelos danos, o governo do estado de Goiás paga uma pensão vitalícia a essas pessoas e oferece plano de saúde do estado, o IPASGO. Para fazer o acompanhamento das vítimas foi criada em 1989 a Superintendência Leide das Neves, que foi reestruturada e renomeada ao longo dos anos (SCHUMANN; BERWIG, 2019).

Esse antigo órgão foi reestruturado e, atualmente, corresponde a duas entidades, o Centro Estadual de Assistência aos Radioacidentados (CARA) e o Centro de Excelência em Ensino e Pesquisa e Projetos Leide das Neves Ferreira (CEEPP-LNF). A primeira é responsável pela assistência e monitoramento clínico das vítimas do acidente e a segunda, responsável pelo monitoramento epidemiológico das vítimas, bem como a supervisão do acervo científico que retrata a exposição ao Césio 137 e acompanhamento dos estudos realizados pela Secretaria Estadual de Saúde relacionados ao Césio (BARBOSA *et al.*, 2017; SCHUMANN; BERWIG, 2019).

Foi fundada também, em 1987, a Associação das Vítimas do Césio 137 de Goiânia (AVCésio). Diferentemente das instituições anteriores, neste caso os fundadores foram as próprias vítimas do acidente, juntamente com um movimento que surgiu na época denominado Comitê de Defesa de Goiânia, o qual era composto por artistas, jornalistas, professores, intelectuais, estudantes, entre outros. O objetivo da criação dessa associação foi para lutarem e garantirem os direitos dos radioacidentados (GRASSI; QUEIROZ; FERRARI, 2015; ROSA; ROZA DA SILVA; DARROZ, 2019). Objetivo este que continua sendo buscado ainda nos dias de hoje.

É importante ressaltar que hoje não há nenhum aparelho de radioterapia que contenha uma fonte de Césio 137 em utilização no Brasil, todos foram gradualmente substituídos por aparelhos que utilizam fonte de cobalto, como medida preventiva para evitar outros acidentes radiológicos (BORGES, 2003; ROCHA, 2008). No entanto,

como vimos no capítulo 2 o Césio é subproduto da fissão do urânio 235 e tem várias outras aplicações.

Outras duas áreas que também deveriam ter merecido atenção especial por parte do poder público são as áreas da saúde e da educação. Na área da saúde, deveria ter havido uma intensificação do oferecimento de cursos para preparar melhor os profissionais, especialmente os médicos e enfermeiros, para que não só conseguissem identificar sintomas de exposição ou contaminação à radiação, bem como atuassem com segurança no socorro e no tratamento de vítimas desse tipo de acidente.

No entanto há indícios de que isso não ocorreu, pois em 2002, 15 anos após o acidente, durante a Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), houve um simpósio sobre o acidente ocorrido em Goiânia, e segundo Borges (2003, p. 105) o médico Nelson José de Lima declarou “[...] na área médica não acrescentamos nada após o Acidente de Goiânia; aliás quantos médicos no Brasil sabem identificar uma radiotermita [...]”. A mesma crítica foi feita 25 anos após o acidente pelo médico e secretário de saúde na época do acidente, Antônio Faleiros (GOIÁS, 2012)

Hoje, se uma pessoa chegar no hospital com os sintomas que os radioacidentados apresentaram: vômito, dor de cabeça, diarreia, náuseas, manchas na pele... eu acho que é pior. Não vão imaginar que possa ser um acidente radioativo hoje, como não pensaram na época (GOIÁS, 2012, p. 9).

Se nessa última fala em que já havia se passado 25 anos do acidente, ainda não tínhamos avanços significativos na área médica, é bem provável que o cenário hoje seja praticamente o mesmo de 1987, em relação a formação dos profissionais de saúde.

Por fim, a área da educação, deveria ter merecido atenção especial, devido ao seu alcance, seria importante que os professores, atualmente, fossem preparados durante a sua graduação nas IES para atuar na educação básica e superior, ensinando seus alunos a reconhecer o símbolo da Radioatividade, os conteúdos envolvidos no tema, as principais aplicações, os benefícios e malefícios das radiações, contexto histórico de sua descoberta e os acidentes que já ocorrem no

mundo, dando ênfase ao acidente de Goiânia em diversos aspectos, dentre eles os sociais e econômicos.

Ou seja, espera-se que os professores, principalmente da educação básica, o que inclui a autora dessa tese, sejam capazes de alfabetizar cientificamente seus alunos em relação à temática Radioatividade, para que estes possam ter noções básicas de ciência e consigam agir de forma consciente diante de determinadas situações, como no encontro de um aparelho de radioterapia abandonado. No entanto há evidências, como discutiremos no capítulo 5, de que isso não ocorre.

Muitas pessoas que frequentaram a escola após o acidente, mesmo estudando em Goiânia, pouco ou nada aprenderam sobre o ocorrido, pois seus professores provavelmente não eram, e parte-se da hipótese que ainda não são qualificados em relação à discussão do tema Radioatividade, pois não receberam formação específica sobre Radioatividade, materiais radioativos e acidente radioativos e radiológicos. Isso evidencia que os cursos de formação de professores, no caso desta tese, especificamente, as licenciaturas em Química, não deram a devida importância ao acidente, e esta não é uma temática abordada como possibilidade de alfabetização científica tanto nas licenciaturas quanto da educação básica, nível em que atua os professores formados nas IES.

CAPÍTULO 4 - OS CAMINHOS QUE FORAM TRILHADOS NA PESQUISA

A abordagem de investigação adotada nesta pesquisa foi do tipo qualitativa e a coleta de dados foi feita por meio da análise documental (FLICK, 2009). Para Godoy (1995, p. 62) “[...] a pesquisa qualitativa tem o ambiente natural como fonte direta de dados e o pesquisador como instrumento fundamental”, nesse tipo de pesquisa a preocupação maior é com o processo e não com os resultados que possam ser obtidos. Como essa pesquisa é descritiva, a palavra ocupa lugar de destaque, em detrimento dos números, como na pesquisa quantitativa.

Mais o que são documentos? Para Godoy (1995) documentos incluem materiais escritos, como jornais, cartas, memorandos, revistas, relatórios, obras literárias, científicas e técnicas; estatísticas e elementos iconográficos, como fotografias, filmes, imagens e grafismo. E segundo Bardin (1977, p. 45) análise documental é “[...] uma operação ou um conjunto de operações visando representar o conteúdo de um documento sob uma forma diferente da original, a fim de facilitar num estado ulterior a sua consulta e referência”, propiciando assim transformar os dados iniciais durante a análise. Em relação as características deste tipo de pesquisa, para Marconi e Lakatos (2003, p. 127) “A característica da pesquisa documental é que a fonte de coleta de dados está restrita a documentos, escritos ou não, constituindo o que se denomina de fontes primárias”.

Esses documentos que são a base desse tipo de pesquisa, para Ludke e André (1986, p. 39) “Representam [...] uma fonte natural de informação. Não são apenas uma fonte de informações contextualizada, mas surgem num determinado contexto e fornecem informações sobre esse mesmo contexto”, sendo esta fonte adequada então para a análise de PPC, que são documentos que durante a sua construção devem considerar o contexto no qual a IES está localizada, bem como para a análise de questionários respondidos pelos professores da educação básica.

Assim, como em qualquer outra abordagem, a pesquisa documental apresenta vantagens e desvantagens. Uma das vantagens da pesquisa documental segundo Godoy (1995) é que como os documentos são uma fonte não reativa, por exemplo, mesmo passando muitos anos após a sua escrita, as informações permanecem as

mesmas. Outra vantagem é o custo, que geralmente é baixo, facilitando o acesso do pesquisador ao material (LUDKE; ANDRÉ, 1986). Como desvantagens tem-se por exemplo, a falta de padronização de alguns documentos, o que dificulta a análise dos dados (GODOY, 1995).

Os documentos que constituem a pesquisa desta tese são os Projetos Pedagógicos de Curso (PPC) das IES do estado de Goiás que ofertam curso superior em licenciatura em Química, e questionários aplicados aos professores de Química da Educação Básica, especificamente do Ensino Médio da cidade de Goiânia, sendo, portanto, as fontes de informações que foram utilizadas. A escolha dos PPC se deu em razão de serem obrigatórios a todas as IES e de ser nestes textos que as instituições descrevem os objetivos do curso, os caminhos que serão percorridos para alcançá-los, listam as disciplinas com suas respectivas ementas e referências, as quais serão utilizadas para desenvolver as habilidades e competências dos futuros professores de Química, bem como elucidam o perfil do egresso que a IES almeja formar. Já os questionários foram utilizados com o objetivo de ouvir os profissionais sobre a percepção/crítica/dicotomia entre a sua formação e sua atuação profissional.

Como técnica analítica, escolheu-se a Análise Textual Discursiva (ATD). Nesse capítulo descrevemos os caminhos percorridos desde a coleta dos documentos, os PPC, até o processo analítico.

4.1 EM BUSCA DAS INFORMAÇÕES – COLETA DE DADOS

4.1.1 Os PPC

A coleta de dados se iniciou com a visita ao sítio do Ministério da Educação e Cultura (MEC), com o intuito de levantar os nomes das instituições de ensino superior presentes no estado de Goiás, englobando as IES públicas federais e estaduais e privadas. Em seguida foi feita a consulta no sítio eletrônico de cada uma das instituições citadas pelo MEC com o intuito de saber quais ofertavam o curso superior de Química na modalidade licenciatura. Foram encontradas dezesseis IES que ofertam o curso de Química na modalidade licenciatura, em seguida foi feita a pesquisa pelos PPC dessas instituições também em seus sítios eletrônicos. De todas as IES, duas não disponibilizam os PPC em seus sítios, no entanto, esses documentos

foram obtidos através do contato via e-mail com os coordenadores de curso dessas instituições. Uma das IES, o Instituto Federal Goiano campus Urutaí, oferece o curso de licenciatura em Química em dois turnos, matutino e noturno, com PPC distintos, logo foram analisados ao todo dezessete PPC.

Não foi delimitado espaço de tempo para a coleta dos PPC, uma vez que geralmente a versão que está publicada no sítio eletrônico corresponde à última atualização. Para confirmar que não havia uma nova versão dos documentos, foi feita uma outra consulta dos PPC nos sítios das IES mês de setembro de 2021.

O quadro a seguir apresenta os nomes das IES públicas e privadas, no estado de Goiás e cujos PPC foram analisados na presente pesquisa.

Quadro 2 – IES que ofertam o curso de licenciatura em Química no estado de Goiás

Instituição	Campus
Pontifícia Universidade Católica de Goiás – PUC	Goiânia
Universidade Estadual de Goiás – UEG	Anápolis
Universidade Estadual de Goiás – UEG	Formosa
Universidade Federal de Goiás – UFG	Goiânia
Universidade Federal de Catalão – UFCAT	Catalão
Universidade Federal de Jataí – UFJ	Jataí
Instituto Federal de Goiás - IF Goiás	Anápolis
Instituto Federal de Goiás - IF Goiás	Inhumas
Instituto Federal de Goiás - IF Goiás	Itumbiara
Instituto Federal de Goiás - IF Goiás	Luziânia
Instituto Federal de Goiás - IF Goiás	Uruaçu
Instituto Federal Goiano - IF Goiano	Ceres
Instituto Federal Goiano - IF Goiano	Iporá
Instituto Federal Goiano - IF Goiano	Morrinhos
Instituto Federal Goiano - IF Goiano	Rio Verde
Instituto Federal Goiano - IF Goiano	Urutaí – diurno
Instituto Federal Goiano - IF Goiano	Urutaí – noturno

Fonte: A autora.

Estes documentos constituem o *corpus* desta pesquisa, a qual está contemplando todas as IES que oferecem o curso de licenciatura em Química no estado de Goiás. No processo de análise, os documentos foram numerados de 1 a 17 conforme a ordem que foram sendo acessados, que não é mesma ordem do Quadro 2, visando anonimizar as instituições no contexto das discussões apresentadas na tese. No item 4.2 será descrito como esses documentos foram trabalhados.

4.1.2 Os questionários

O questionário elaborado (Apêndice 1), foi aplicado aos professores de Química da Educação Básica tanto da rede estadual de educação, quanto da rede privada de ensino, da cidade de Goiânia, estado de Goiás. Inicialmente pretendia-se aplicar os questionários somente aos professores de Química que atuam na rede pública estadual na cidade de Goiânia, que no ano de 2021 é de 126 profissionais. No entanto, devido ao baixo número de respostas obtidas desses profissionais, ampliou-se a pesquisa para rede particular. A escolha dos professores somente da cidade de Goiânia, ocorreu devido à situação atual da Pandemia da Covid-19. Considerando o momento de pandemia e as incertezas relacionadas às diversas formas de contato entre pesquisador e participantes da pesquisa, os questionários foram enviados aos professores via e-mail, aplicativos de conversa e redes sociais.

Foram aplicados questionários aos professores atuantes na educação básica formados nas IES de Goiás nas décadas de 1980, 1990, 2000, 2010 e 2020. Entendemos que os Projetos Pedagógicos de Cursos passam por várias atualizações durante os anos e que é importante ouvir os professores formados em diferentes épocas para acessar relatos que possam nos auxiliar a resgatar informações tanto sobre o contexto formativo, quanto sobre o contexto da ação docente em relação ao tema da tese, a abordagem da Radioatividade na formação de professores de Química. Estes documentos também constituem o *corpus* desta pesquisa, e contemplam respostas de professores de Química com formações que ocorreram durante as décadas que se seguiram após o acidente com a fonte de Césio 137.

Isto posto, a aplicação dos questionários teve como objetivos a) saber se os professores estudaram Radioatividade durante o curso de licenciatura em Química; b) compreender qual foi a abordagem dada a essa temática durante a sua formação; c) investigar se esses professores trabalham ou já trabalharam com o conteúdo de Radioatividade durante sua vida profissional; d) entender qual foi a abordagem dada à temática Radioatividade quando eles ministraram esse conteúdo aos alunos da educação básica; e) compreender se os professores trabalharam o acidente com o Césio 137 ocorrido em Goiânia durante a abordagem desse conteúdo; f) identificar relações entre as dificuldades que esses professores podem ter tido na abordagem do tema Radioatividade e seu processo formativo na licenciatura em Química.

4.2 A ANÁLISE DOS DOCUMENTOS

Há várias metodologias de análise que podem ser utilizadas para compreender as informações presentes em um documento, dentre elas tem-se a análise de discurso, a análise textual discursiva e a análise de conteúdo (MEDEIROS; AMORIM, 2017). Neste trabalho será utilizada como técnica analítica a Análise Textual Discursiva (ATD), que de acordo com Moraes e Galiazzi (2020, p. 134) “[...] pode ser entendida como o processo de desconstrução, seguido de reconstrução, de um conjunto de materiais linguísticos e discursivos produzindo-se a partir disso novos entendimentos sobre os fenômenos e discursos investigados”.

Assim, ao utilizarmos a ATD como metodologia de análise de dados, é possível extrair dos documentos informações por meio de leituras rigorosas e aprofundadas, que, após o processo de interpretação e análise, são capazes de conduzir o pesquisador na compreensão do problema em questão. Os documentos analisados na ATD são denominados de “*corpus*” e podem tanto ser documentos já existentes, como os PPC, quanto serem produzidos especialmente para a pesquisa, como questionários. O primeiro passo em uma pesquisa, independentemente da técnica de análise escolhida, é justamente a definição do *corpus* que esteja relacionado ao fenômeno investigado e que seja capaz de produzir resultados representativos e válidos. Os próximos caminhos a serem trilhados dependerão da técnica que o pesquisador vai trabalhar. A ATD é organizada numa sequência recursiva de três etapas: unitarização, categorização e captação do novo emergente (MORAES; GALIAZZI, 2020).

A primeira etapa da ATD, a unitarização, consiste no processo de desconstrução ou desmontagem dos textos do *corpus* nas unidades de significado ou unidades de análise relacionadas com a temática da pesquisa. Segundo Moraes e Galiazzi (2020, p. 137) as unidades de análise são “[...] elementos destacados dos textos, aspectos importantes destes que o pesquisador entende mereçam ser salientados, tendo em vista sua pertinência em relação aos fenômenos investigados”. Dessa forma, essa é uma etapa fundamental para uma pesquisa de qualidade, pois será a partir dela que o pesquisador por meio de um processo gradativo e de intenso envolvimento, fará a seleção das informações relevantes ao objeto pesquisado, as

quais lhe darão subsídio teórico para as etapas seguintes da pesquisa.

Ainda nesse viés, como exercício hermenêutico, “[...] a unitarização é parte do esforço de construir significados a partir de um conjunto de textos” (MORAES; GALIAZZI, 2020, p. 71), o que será alcançado através de uma leitura aprofundada do *corpus*, considerando sempre o contexto. Para Moraes e Galiuzzi (2020, p. 78) “Contextualizar é inserir-se no discurso a que as informações se referem, é garantir que as unidades produzidas tenham relação com os gêneros discursivos nos quais foram produzidas, que se mostrem pertinentes ao discurso social no qual se inserem”.

Além disso, é importante ressaltar que o processo de unitarização causa uma desordem que é necessária para se construir uma nova compreensão do *corpus* no decorrer da pesquisa. No entanto para não se perder com os dados, o pesquisador deve ter sempre em mente que essas unidades fazem parte de um discurso, de um contexto. Os autores Moraes e Galiuzzi (2020) defendem que a unitarização pode ser feita em momentos distintos: fragmentação dos textos e codificação de cada unidade, reescrita das unidades para que elas assumam um significado e a nomeação de cada unidade produzida. Com esse movimento, chega-se as unidades finais que serão utilizadas na próxima etapa.

Após a unitarização, é preciso reunir os elementos semelhantes em busca do reestabelecimento de uma nova ordem, através da criação de categorias, a segunda etapa da ATD. Para Moraes e Galiuzzi (2020, p. 96) a categorização “[...] corresponde a uma organização, ordenamento e agrupamento de conjuntos de unidades de análise, sempre no sentido de conseguir expressar novas compreensões dos fenômenos investigados”. Assim, por meio das categorias ordenam-se os elementos unitários, antes desorganizados, facilitando a interpretação dos dados encontrados e a construção dos metatextos. A categorização não ocorre só na pesquisa, ela faz parte da nossa vida, aprendemos a classificar, codificar e organizar os elementos constituintes da nossa vida, por meio dos nossos processos cognitivos (MORAES; GALIAZZI, 2020).

O processo de categorização é feito por uma sequência de passos, permitindo que o pesquisador ao longo da pesquisa reconstrua as categorias à medida que a sua compreensão e aprendizagem dos fenômenos investigados vai se aprofundando, sendo também um processo cíclico. É importante que no processo de categorização

sejam levados em consideração o contexto no qual os documentos foram construídos e os objetivos da pesquisa. Além disso, na ATD as categorias devem possuir algumas propriedades, dentre elas destacam-se: validade, homogeneidade, amplitude e precisão e exaustividade (MORAES; GALIAZZI, 2020). Essas propriedades são importantes para a criação de categorias que realmente serão pertinentes para a construção dos metatextos.

Em um trabalho acadêmico as categorias de análise podem ser definidas por diferentes metodologias, podendo ser definidas antes do processo de unitarização, através do método dedutivo, o qual parte do geral para o específico, denominadas de categorias *a priori*, ou podem emergir durante a análise dos documentos, através do método indutivo, onde parte-se do específico para o geral, neste caso tem-se as categorias emergentes. A escolha de uma ou de outra depende da forma como o pesquisador pretende conduzir a investigação e dos objetivos da pesquisa (LUDKE; ANDRÉ, 1986; MORAES; GALIAZZI, 2020).

Nesta tese, foram utilizadas duas categorias *a priori*: A formação de professores de Química no estado de Goiás e a alfabetização científica e Abordagem da Radioatividade na formação dos professores de Química e uma categoria emergente: As influências da formação inicial em relação a temática Radioatividade na atuação docente dos professores de Química da educação básica. Para definir a primeira categoria, buscou-se elementos que remetessem a uma formação capaz de alfabetizar cientificamente os licenciandos, uma vez que é desejável que os professores de Ciências, especificamente os de Química, tenham essa formação, sejam capazes de atuar de forma crítica e reflexiva nas mais diversas situações do seu cotidiano, tomando decisões racionais e conscientes quando envolvem conhecimento científico. Além disso, os licenciados quando formados pelo viés da alfabetização científica, serão capazes de alfabetizar cientificamente os alunos da educação básica, tanto do Ensino Fundamental, quanto do Ensino Médio.

A segunda categoria está relacionada à temática da tese, e através dela buscamos identificar e compreender a (não)abordagem do conteúdo Radioatividade e do acidente radiológico ocorrido em Goiânia, em 1987, com uma fonte de Césio 137, pelas IES do estado de Goiás que ofertam o curso de licenciatura em Química. A abordagem desse conteúdo é importante tanto pelo fato de estar relacionado ao maior acidente radiológico do mundo, quanto por estar presente nos currículos da educação

básica, o *lócus* de atuação dos licenciados.

Entendemos que para alfabetizar cientificamente os alunos, um dos pilares é justamente a abordagem dos conteúdos, principalmente aqueles que fazem parte da história e do cotidiano local e regional dos alunos. Assim, através da análise das respostas dos professores ao questionário, emergiu a terceira categoria, onde procurou-se compreender a formação que os professores tiveram em relação a temática e suas implicações na atuação docente, considerando um ensino que busca alfabetizar cientificamente os goianos.

Para se delimitar a primeira categoria “A formação de professores de Química no estado de Goiás e a alfabetização científica”, os elementos unitários foram cidadania, cidadão/cidadã, crítica/crítico, reflexiva/reflexivo/refletir, problematização, formação humanística, especificidades locais, especificidades regionais, contextualização/contexto do educando, sociedade, realidade, transformação, responsabilidade e alfabetização científica.

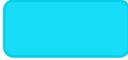
As unidades de análise foram identificadas nos PPC a partir dos Objetivos Gerais e Específicos dos cursos, do perfil do egresso, da justificativa do curso, das habilidades e competências e das diretrizes metodológicas/metodologia. Essas seções dos documentos foram escolhidas por serem nelas que são descritas as características, objetivos e pretensões tanto do formando quanto do curso, o que pode nos dar um panorama da formação pretendida para o futuro professor e se essa está pautada pelo viés da alfabetização científica.

Já para a segunda categoria, as unidades de análise foram: Radioatividade, radioativo, radioquímica, química nuclear, resíduo radioativo, resíduo nuclear, acidente nuclear, acidente radioativo, acidente radiológico e Césio 137. Esses elementos unitários foram encontrados nas seguintes seções dos documentos: conteúdos e referências bibliográficas presentes nas ementas das disciplinas que compõem os cursos de licenciatura em Química das IES. E essas seções foram escolhidas por serem nelas que são apresentados os conteúdos e as referências que serão utilizadas nos cursos, visto que as unidades de análise estão relacionadas a conteúdos que possivelmente são trabalhados nos cursos de graduação.

Para facilitar a nossa análise, os elementos unitários, resultantes da primeira etapa, a desmontagem dos PPC, foram destacados nos documentos utilizando-se

cores diferentes, assim para as que compõe a primeira categoria utilizamos a cor rosa e para as que compõe a segunda categoria utilizamos a cor azul, como demonstrado no quadro 3.

Quadro 3 – As cores utilizadas para destacar os elementos unitários que compõem cada categoria

Cor	Unidade de Análise
	Cidadania, cidadão/cidadã, crítica/crítico, reflexiva/reflexivo/refletir, problematização, formação humanística, especificidades locais, especificidades regionais, contextualização/contexto do educando, sociedade, realidade, transformação, responsabilidade e alfabetização científica.
	Radioatividade, radioativo, radioquímica, química nuclear, resíduo radioativo, resíduo nuclear, acidente nuclear, acidente radioativo, acidente radiológico e Césio 137.

Fonte: A autora.

Exemplos dos destaques dos elementos unitários nos PPC são mostrados nas Figuras 27 e 28 a seguir.

Figura 27 – Desmontagem de um PPC em elementos unitários

O perfil profissional pretendido para o Licenciado em Química deve ter uma formação generalista, porém sólida e abrangente nos diversos campos da Química, crítica e ética adequada à aplicação pedagógica do conhecimento e experiências de Química e de áreas afins na sua atuação profissional na educação fundamental e média, solucionando problemas relacionados ao ensino/aprendizagem, cumprindo o papel social de preparar os alunos para o exercício consciente da cidadania. Deverá também reconhecer a Química

Fonte: A autora.

Figura 28 – Desmontagem de um PPC em elementos unitários

Nome da disciplina: Química Nuclear		
Código: QMD	Carga Horária Teórica: 36,7	Carga Horária Prática: 00
Período: 8º	Carga Horária Total: 36,7	Pré-requisitos: Não há pré-requisitos
Ementa: O núcleo dos átomos. Estabilidade e a relação entre nêutrons/prótons. Tipos de decaimento. Séries de decaimentos. Reações nucleares: Fissão. Cinética da degradação radioativa. Datação com carbono radioativo. Reações nucleares: Fusão. Aplicações de radioisótopos na indústria. Aplicações de radioisótopos na agricultura. O uso das radiações na medicina. Acidentes nucleares.		

Fonte: A autora.

A partir dos elementos unitários e de suas categorizações, caminha-se para a última etapa da ATD passando pela descrição e interpretação em busca da construção

do metatexto, ou seja, a captação do novo emergente, o qual representa a compreensão do autor a partir dos dados analisados, uma forma de teorização, na qual há um envolvimento intenso do pesquisador. A descrição consiste em apresentar para o leitor os elementos que fazem parte do fenômeno investigado por meio das categorias que foram construídas e sua inter-relação com os textos originais. De certo modo consiste em uma interpretação, no entanto muito próxima dos dados teóricos.

Já a interpretação propriamente dita, consiste em dar nova compreensão aos fenômenos estudados, exigindo, portanto, que o pesquisador se aprofunde nas teorias. É como construir pontes entre a descrição e as teorias utilizadas na pesquisa ou que surgem dela. Isso constitui dois modos de interpretação, um a partir de referenciais teóricos *a priori* e outro a partir de teorias emergentes. Nesta pesquisa, escolheu-se trabalhar com o primeiro modo, no qual, segundo Moraes e Galiazzi (2020 p. 122) “[...] a interpretação é parte do movimento de teorização e transformação de concepções teóricas assumidas *a priori*, que as novas pesquisas possibilitam ampliar, aprofundar e reconstruir”.

A partir desse movimento, constrói-se o metatexto, o produto da ATD, o qual apresenta as “[...] principais interpretações e compreensões construídas a partir do conjunto de textos submetidos à análise” (MORAES; GALIAZZI, 2020, p. 135). Logo, o metatexto não é apenas a junção de fragmentos do *corpus*, mas sim, um processo exaustivo e rigoroso de dedicação profunda do autor/pesquisador em relação aos fenômenos investigados em busca de explicitar seus novos argumentos, no qual o pesquisador deve se assumir como autor (MORAES; GALIAZZI, 2020). Nas palavras de Moraes e Galiazzi (2020, p. 55)

Chegar a esses argumentos novos e originais não é apenas um exercício de síntese. Constitui-se muito mais em momento de inspiração e intuição resultante da impregnação intensa no fenômeno investigado. Significa a essência da teorização do pesquisador sobre os fenômenos que investiga.

Para escrever um metatexto claro e de fácil compreensão para o leitor, o pesquisador deve percorrer um longo caminho de idas e vindas, sempre em busca do aprofundamento das discussões, em prol da construção de um texto bem elaborado. No próximo capítulo, será apresentado o metatexto construído a partir da análise dos

PPC por meio das categorias 1 e 2, bem como a partir da categoria 3 que surge da análise dos questionários respondidos pelos professores e professoras de Química da educação básica, do município de Goiânia, e que estruturará a captação do novo emergente.

No processo de análise, as respostas aos questionários foram organizadas em tabelas e gráficos para facilitar a sua interpretação. Além disso, a análise das respostas foi feita considerando a inter-relação entre a formação e a atuação docente em relação à temática Radioatividade e um ensino que busca alfabetizar cientificamente os alunos, tanto no ensino superior, quanto na educação básica.

CAPÍTULO 5 – O BRILHO QUE FALTA NO ENSINO DE QUÍMICA E NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE GOIÁS!

A partir da leitura dos documentos e da emergência das unidades de análise, estabeleceram-se duas categorias *a priori*, que são: i) A formação de professores de Química no estado de Goiás e a alfabetização científica; ii) A abordagem da Radioatividade na formação dos professores de Química e, a partir do questionário, surgiu uma categoria emergente: iii) As influências da formação inicial em relação à temática Radioatividade na atuação docente dos professores de Química da educação básica. Primeiramente, abordaremos as duas categorias *a priori*, individualmente, e, depois, faremos a discussão da categoria que emergiu das análises dos questionários, pois entendemos que é importante trazer o olhar do professor formado pelas IES do estado Goiás em relação à temática Radioatividade, para as discussões.

5.1 A FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE QUÍMICA NO ESTADO DE GOIÁS E A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA

Para esta categoria foram analisados 17 PPC, as unidades de análise foram: cidadania, cidadão/cidadã, crítica/crítico, reflexiva/reflexivo/refletir, problematização, formação humanística, especificidades locais, especificidades regionais, contextualização/contexto do educando, sociedade, realidade, transformação, responsabilidade e alfabetização científica, e as seções dos documentos utilizadas foram os objetivos gerais e específicos dos cursos, o perfil do egresso, a justificativa do curso, habilidades e competências e as diretrizes metodológicas/metodologia. Para facilitar a análise, foi feita a desmontagem dos PPC nas unidades descritas anteriormente, ou seja, foi feita a unitarização desses documentos.

Entendemos que a alfabetização científica é um processo que se constrói em conjunto entre professores e alunos, a partir de alguns elementos fundantes, como um ensino pautado pela reflexão, pela crítica, pela compreensão dos fatos relacionados à ciência que ocorrem no dia a dia, pela capacidade de tomar uma decisão consciente que envolva conhecimento científico, enfim, pela ampliação da visão de mundo dos alunos, uma visão para a cidadania.

Tal olhar para a alfabetização científica se fundamenta em referenciais, como Chassot (2018), Freire (1967), Lorenzetti e Delizoicov (2001) e Sasseron (2015). Dentre os autores, podemos destacar o recorte de Sasseron (2015, p. 56) para corroborar o nosso olhar para a alfabetização científica, segundo a qual “[...] alfabetização científica, ao fim, revela-se como a capacidade construída para a análise e avaliação de situações que permitam ou culminem com a tomada de decisões e o posicionamento”. Por esse viés, podemos pensar em uma formação de professores que possuam um outro olhar, uma visão mais crítica da educação, da escola, da sala de aula, do processo de ensino e aprendizagem, o que refletirá em suas ações, tanto dentro quanto fora da sala de aula.

Nos PPC analisados, encontramos, em todos eles, referências aos elementos característicos da alfabetização científica, como será discutido nos itens 5.1.1 e 5.1.2, nos quais vamos analisar, primeiro, a relação entre a alfabetização científica e a formação para a cidadania e, posteriormente, a relação entre a alfabetização científica e a formação crítica e reflexiva do professor.

5.1.1 Alfabetização Científica e a Formação para a Cidadania

O Quadro 4 a seguir, evidencia trechos retirados dos PPC que contêm alguns dos elementos que indicam uma formação para a cidadania por meio da alfabetização científica.

Quadro 4 – Recortes dos PPC contendo elementos que indicam uma formação para a cidadania por meio da alfabetização científica

PPC	Aspectos relacionado à Alfabetização Científica	Unidade de contexto
1	Promover uma ampla formação em ciência básica, possibilitando ao egresso, o exercício da cidadania e a inserção no mundo do trabalho.	Objetivos
2	Formar professores de química com habilidades desenvolvidas na perspectiva dos fundamentos didáticos e pedagógicos, capazes de contribuir, efetivamente, para a formação e para o exercício da cidadania.	Objetivos
3	O licenciado dispõe de condições para exercer plenamente sua cidadania e, enquanto profissional, respeitar o direito à vida e ao bem-estar dos cidadãos que, direta ou indiretamente, possam vir a ser atingidos pelos resultados de suas atividades.	Perfil do egresso

4	Visão abrangente do papel do educador no desenvolvimento de uma consciência cidadã como condição para a construção de uma sociedade mais justa e democrática.	Perfil do egresso
5	Assumir conscientemente a tarefa educativa, cumprindo o papel social de preparar os alunos para o exercício consciente da cidadania.	Competências e Habilidades
6	Visão abrangente do papel do educador no desenvolvimento de uma consciência cidadã como condição para a construção de uma sociedade mais justa e democrática.	Perfil do egresso
7	Ter formação humanística que permita exercer plenamente sua cidadania e, enquanto profissional, respeitar o direito à vida e ao bem-estar dos cidadãos.	Objetivos
8	Assumir conscientemente a tarefa educativa, cumprindo o papel social de preparar os alunos para o exercício consciente da cidadania.	Perfil do egresso
9	Propiciar ao estudante conhecimento e vivência de diferentes experiências didáticas em ensino de Química relacionados ao ensino/aprendizagem, cumprindo o papel social de preparar os alunos para o exercício consciente da cidadania.	Objetivos
10	Contribuir para a compreensão de que a aprendizagem da Química pode oferecer à formação dos indivíduos para o exercício de sua cidadania.	Objetivos
11	Enfatizar a formação cultural e humanística, com ênfase nos valores éticos gerais, profissionais e de cidadania.	Objetivos
12	O curso de Licenciatura em Química tem como principal finalidade a formação de professores habilitados para atuarem na Educação Básica, fornecendo uma formação sólida humanística e científica na área pedagógica e na área específica de Química, de modo que a formação de professores possa contribuir para que o cidadão compreenda, interprete e enfrente a realidade social por meio do conhecimento socialmente produzido.	Objetivos
13	Ter formação humanística que permita exercer plenamente sua cidadania e, enquanto profissional, respeitar o direito à vida e ao bem-estar dos cidadãos.	Habilidades e competência
14	De modo que a formação de professores possa contribuir para que o cidadão compreenda, interprete e enfrente a realidade por meio do conhecimento socialmente produzido.	Perfil do egresso
15	O químico deve ser: Comprometido com os resultados de sua atuação, pautando sua conduta profissional por critério humanístico, compromisso com a cidadania e rigor científico, bem como por referenciais éticos legais.	Objetivos
16	Formar professores cidadãos, capazes de pensar/agir de forma criativa e inovadora perante os problemas do contexto social.	Objetivos
17	De modo específico, almeja-se que o egresso seja: Comprometido com os resultados de sua atuação, pautando sua conduta profissional por critério humanístico, compromisso com a cidadania e rigor científico, bem como por referenciais éticos legais.	Perfil do egresso

Fonte: A autora.

Analisando os recortes, presentes no Quadro 4, fica evidente que os documentos explicitam, de alguma forma, que pretendem formar licenciandos aptos para trabalhar, no contexto escolar, visando a formação de estudantes em uma perspectiva cidadã. Assim, entendemos que esses documentos consideram essa formação importante e a proposta do curso visa alcançá-la. Segundo Heidelmann, Pinho e Lima (2017),

A função primordial do ensino deve ser a de possibilitar a aprendizagem do aluno, distanciando-o do dogmatismo e passividade e proporcionando seu desenvolvimento como cidadão numa sociedade democrática, a partir da capacidade de relacionar o conhecimento construído no processo educacional com sua vivência e realidade (HEIDELMANN; PINHO; LIMA, 2017, p. 356).

Essa compreensão das autoras sobre a função primordial do ensino corrobora com a formação para a cidadania presente nos PPC que, para nós, é indissociável do processo de alfabetização científica dos licenciandos. Assim, formar para a cidadania implica alfabetizar cientificamente os alunos, reforçando dessa forma, a necessidade de um ensino que transcenda os conceitos científicos, que seja capaz de desenvolver no aluno a capacidade de criar e recriar esses conceitos, de construir conhecimento, implicando “[...] uma autoformação da qual pode resultar uma postura atuante do homem sobre o seu contexto” (FREIRE, 2006a, p. 72).

Dessa forma, argumentamos que o alfabetizado cientificamente possui atributos capazes de torná-lo um cidadão, da mesma forma que, para ser considerado um cidadão pelos olhos da ciência, a pessoa deveria ser alfabetizada cientificamente. Nas palavras de Freire (1997, p. 42) “[...] ensinar implica, pois, que os educandos, em certo sentido, “penetrando” o discurso do professor, se apropriem da significação profunda do conteúdo sendo ensinado”, assim, essa apropriação se configura como um dos caminhos possíveis para formar os licenciandos com vistas à preparação para lidarem com propostas educacionais que tenham a alfabetização científica como elemento formativo. O recorte a seguir, presente no Quadro 5, foi retirado do PPC12 e corrobora com essa discussão.

Quadro 5 – Objetivo do curso presente no PPC12

O curso de Licenciatura em Química tem como principal finalidade a formação de professores habilitados para atuarem na Educação Básica, fornecendo uma formação sólida humanística e científica na área pedagógica e na área específica de Química, de modo que a formação de professores possa contribuir para que o cidadão compreenda, interprete e enfrente a realidade social por meio do conhecimento socialmente produzido.

Fonte: Documentos da pesquisa (PPC12).

O recorte representativo destaca que os PPC também consideram a importância da relação entre a apropriação do conhecimento científico e a sua

utilização na sociedade. Outro autor que também defende que a alfabetização científica é capaz de promover transformações pessoais e sociais é Chassot (2018, p. 84), pois, segundo ele, a alfabetização científica “[...] é o conjunto de conhecimentos que facilitariam aos homens e mulheres fazer uma leitura do mundo onde vivem”. Além disso, o autor defende que o ideal seria que “[...] os alfabetizados cientificamente não apenas tivessem facilitada a leitura do mundo em que vivem, mas entendessem as necessidades de transformá-lo, e transformá-lo para melhor” (CHASSOT, 2018, p. 84). Percebemos que essa concepção de alfabetização científica está relacionada à visão de alfabetização defendida por Freire, bem como está presente nos recortes apresentados no Quadro 4, retirados dos PPC.

De forma específica, associamos o olhar de Freire (2006a, p. 72) de que a alfabetização científica resulta em uma “[...] postura atuante do homem sobre seu contexto” aos indicativos dos PPC em que a proposta formativa a ser concretizada precisa considerar um professor de Química que aja, enquanto profissional, para que “[...] o cidadão compreenda, interprete e enfrente a realidade social por meio do conhecimento socialmente produzido” (PPC 12, PPC 14), ou ainda, que respeite “[...] o direito à vida e ao bem-estar dos cidadãos que, direta ou indiretamente, possam vir a ser atingidos pelos resultados de suas atividades” (PPC 3).

A visão presente nos PPC sobre formar para a cidadania e suas contribuições, também está de acordo com proposta de Vizzotto e Del Pino (2020, p. 3) quando eles argumentam que “Independente do significado atribuído pelos diferentes autores ou da nomenclatura empregada para designar o seu ideário, concorda-se que cidadãos alfabetizados cientificamente podem trazer benefícios para a sociedade”. Pois, eles conseguirão enxergar o mundo sob outra perspectiva, mais racional e crítica, permitindo ao licenciado utilizar o conhecimento científico para compreender e intervir em diversas situações que envolvam ciência e tecnologia no seu cotidiano e não somente meros conhecedores de conceitos, os quais eles não conseguem fazer relações com a sua vida diária (GRESZYSCZYN; FILHO; MONTEIRO, 2018).

Além disso, essa formação para a cidadania pelo viés da alfabetização científica irá refletir diretamente na atuação profissional do licenciando em Química, futuro professor da educação básica. Como está presente nos PPC analisados, que deixam claro que pretendem também que o profissional formado tenha condições de

preparar os alunos da educação básica para o exercício da cidadania. Conforme mostra o trecho destacado, a seguir, retirado de alguns PPC.

Quadro 6 – Habilidade e Competência dos egressos do curso nos PPC1, PPC2, PPC5, PPC6, PPC7, PPC8, PPC9, PPC10, PPC12, PPC13, PPC15 e PPC17

Assumir conscientemente a tarefa educativa, cumprindo o papel social de preparar os(as) alunos(as) para o exercício consciente da cidadania.

Fonte: Documentos da pesquisa.

Este recorte reforça a preocupação das IES em fornecer uma formação ampla e capaz de dar condições aos egressos, não só de exercerem sua cidadania, como também de terem condições e embasamento teórico para propiciar essa mesma formação aos alunos da educação básica, durante a sua atuação profissional. Dessa forma, a formação para a cidadania está entrelaçada com a alfabetização científica, conforme sinalizam Dutra, Oliveira e Del Pino (2017),

O professor alfabetizado cientificamente e tecnologicamente é capaz de proporcionar o desenvolvimento desta alfabetização na sala de aula, e contribuir na construção de novos valores que venham ao encontro das necessidades da sociedade contemporânea e da formação do cidadão na sua plenitude (DUTRA; OLIVEIRA; DEL PINO, 2017, p. 90).

Concordamos com os autores e entendemos que na sociedade contemporânea e tecnológica em que vivemos, onde a ciência está muito presente no nosso dia a dia, seja nos produtos que nós utilizamos e consumimos, seja nos aparelhos celulares, nas Smart TVs, nos computadores, nos alimentos, entre outros, a alfabetização científica se torna cada vez mais necessária e importante em todos os níveis de ensino, para que possamos ter condições de fazer escolhas e tomar decisões responsáveis e racionais, exercendo assim, a nossa cidadania.

5.1.2 Alfabetização Científica e Formação Crítica e Reflexiva

Além de preparar o sujeito para o exercício da cidadania, durante a formação é preciso também que os licenciandos desenvolvam algumas habilidades, dentre elas,

a capacidade de pensar e agir crítica e reflexivamente. Pois assim, conseguirão relacionar e utilizar os conceitos químicos aprendidos durante a sua graduação para as mais diversas situações do seu cotidiano, nas quais o conhecimento científico esteja envolvido. Além disso, entendemos serem essas habilidades um dos pressupostos para a alfabetização científica.

O Quadro 7, a seguir, apresenta trechos retirados dos PPC que contêm alguns elementos que evidenciam a proposta das IES de uma formação crítica e reflexiva.

Quadro 7 – Recortes dos PPC contendo elementos de uma formação crítica e reflexiva

PPC	Aspectos relacionado à Alfabetização Científica	Unidade de contexto
1	Oferecer uma formação teórica e prática baseada nos conceitos fundamentais da Química, possibilitando aos egressos a atuação crítica e inovadora frente aos desafios da sociedade.	Objetivos
2	Possuir capacidade crítica para analisar de maneira conveniente os seus próprios conhecimentos; assimilar os novos conhecimentos científicos e/ou educacionais e refletir sobre o comportamento ético que a sociedade espera de sua atuação e de suas relações com o contexto cultural, socioeconômico e político.	Habilidades e competências
3	Trata-se de um profissional que atua como um docente crítico na contextualização sociocultural de suas aulas e na transformação social mais ampla, sendo um investigador com capacidade de analisar suas práticas revendo as rotinas e criando novas soluções.	Perfil do egresso
4	Oferecer uma sólida formação teórica e prática baseada nos conceitos fundamentais da profissão do Licenciado em Química que possibilite aos egressos atuarem de forma crítica e inovadora frente aos desafios da sociedade.	Objetivos
5	Os Licenciados em Química estarão aptos a atuar de forma crítica na identificação e resolução de problemas, que considere seus aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais, com uma visão ética e humanística, em atendimento às demandas da sociedade.	Objetivos
6	Formação generalista, fundamentada em conhecimentos de Química, capaz de atuar em equipe, de forma crítica e criativa, na solução de problemas, no trabalho de pesquisa em ensino de Química e respeito ao meio ambiente.	Perfil do egresso
7	Possuir capacidade crítica para analisar de maneira conveniente os seus próprios conhecimentos; assimilar os novos conhecimentos científicos e/ou educacionais e refletir sobre o comportamento ético que a sociedade espera de sua atuação e de suas relações com o contexto cultural, socioeconômico e político.	Objetivos
8	Promover uma formação alicerçada nas visões críticas acerca do papel social e da natureza do conhecimento científico, considerando os processos sócio-históricos da produção científica.	Objetivos
9	Compreender e avaliar criticamente os aspectos sociais, tecnológicos, ambientais, políticos e éticos relacionados às aplicações da Química na sociedade.	Objetivos
10	Proporcionar a capacidade de compreender, criticar e utilizar novas ideias e tecnologias para a resolução de problemas, bem como os conhecimentos de questões contemporâneas e de sua realidade.	Objetivos
11	Condições para o exercício pautado no pensamento crítico, sobretudo em relação à sua prática profissional.	Perfil do egresso

12	Exercício da profissão com espírito dinâmico, crítico, criativo.	Perfil do egresso
13	Compreender e avaliar criticamente os aspectos sociais, tecnológicos, ambientais, políticos e éticos relacionados às aplicações da Química na sociedade.	Habilidades e competência
14	Estimular o desenvolvimento do espírito científico, reflexivo e ético.	Objetivos
15	O Químico deverá ser: Generalista, crítico, ético, e cidadão com espírito de solidariedade.	Perfil do egresso
16	Possuir capacidade crítica para analisar de maneira conveniente os seus próprios conhecimentos; assimilar os novos conhecimentos científicos e/ou educacionais e refletir sobre o comportamento ético que a sociedade espera de sua atuação e de suas relações com o contexto cultural, socioeconômico e político.	Habilidades e competências
17	Possuir uma visão crítica com relação ao papel social da Ciência e à sua natureza epistemológica, compreendendo o processo histórico-social de sua construção.	Habilidades e competências

Fonte: A autora.

Conforme apresentado no Quadro 7 e, por meio da análise dos PPC, observamos que as IES pretendem formar professores de Química para a educação básica, que possuam, dentre outras habilidades, a capacidade de pensar e agir reflexivamente tanto como profissionais quanto como cidadãos. Segundo Shigunov Neto e Fortunato (2017, p. 7), um professor reflexivo é aquele “[...] profissional da educação que observa, analisa e reflete sobre sua prática pedagógica, tendo em vista o aperfeiçoamento de sua atividade docente”, características essas que entendemos estarem presentes na formação que as IES pretendem propiciar aos alunos, como descrito nos PPC e nos recortes do Quadro 7.

Compreendemos que, ao refletir sobre sua prática, o professor busca melhorias que possam contribuir para a sua atuação docente, propondo novas metodologias e estratégias, seja durante o processo de ensino e aprendizagem, ou mesmo antecipadamente, no planejamento de suas aulas, tornando-as mais dinâmicas, prazerosas e interessantes para o aluno. Essas melhorias refletirão diretamente na qualidade da formação recebida pelos alunos da educação básica. Além disso, por meio do processo reflexivo, o professor também adquire condições de estar sempre aprendendo com suas ações, repensando a sua prática, corrigindo os seus erros, o que pode propiciar ao docente um olhar diferente sobre a realidade que ele vivencia, principalmente dentro da sala de aula.

Assim, concordamos com Rosa, Suart e Marcondes (2017, p. 55), quando elas afirmam que, durante o curso “[...] a reflexão e discussão oferecidas aos licenciandos

podem possibilitar a eles se posicionarem criticamente em relação às suas futuras atividades docentes”, o que vai ao encontro dos PPC, que também enfatizam que um dos objetivos dos cursos de licenciatura em Química é o desenvolvimento da criticidade do futuro professor, a qual deverá ser usada tanto no exercício de sua função quanto como sujeito integrante de uma sociedade, considerando vários aspectos, como o social, o econômico, o político, o cultural e o ambiental, como mostram os trechos destacados nos Quadros 8 e 9, a seguir, retirados dos PPC2 e PPC5.

Quadro 8 – Objetivo do curso presente no PPC2

Possuir capacidade crítica para analisar de maneira conveniente os seus próprios conhecimentos; assimilar os novos conhecimentos científicos e/ou educacionais e refletir sobre o comportamento ético que a sociedade espera de sua atuação e de suas relações com o contexto cultural, socioeconômico e político.

Fonte: Documentos da pesquisa (PPC).

Quadro 9 – Objetivo do curso presente no PPC5

Os Licenciados em Química estarão aptos a atuar de forma crítica na identificação e resolução de problemas, que considere seus aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais, com uma visão ética e humanística, em atendimento às demandas da sociedade.

Fonte: Documentos da pesquisa (PPC).

Ainda nesse viés, os PPC também deixam claro que para se ter uma atuação crítica, é necessário primeiramente, oferecer uma formação pautada nos conhecimentos científicos, como mostra o recorte no Quadro 10, referente ao PPC1, que explicita um dos objetivos do curso.

Quadro 10 – Objetivo do curso presente no PPC1

Oferecer uma formação teórica e prática baseada nos conceitos fundamentais da Química, possibilitando aos egressos a atuação crítica e inovadora frente aos desafios da sociedade.

Fonte: Documentos da pesquisa (PPC).

Esse objetivo descrito no PPC1 corrobora com a visão de Fagundes e Campos (2011, p. 66) sobre o que se espera da formação e da atuação docente, quando eles dizem que “A prática pedagógica crítica reflexiva se caracteriza pela indissociabilidade entre teoria e prática”. Entendemos, portanto, que se o PPC apresenta como um dos objetivos o desenvolvimento dessa atuação crítica, como descrita no recorte do PPC1, a IES vai propiciar ao licenciando condições para desenvolver essa capacidade

durante a sua graduação, o que, em nossa análise, vincula-se ao processo de alfabetizar cientificamente os licenciandos.

Como esse desenvolvimento da capacidade crítica e reflexiva dos licenciandos está presente em todos os PPC, inferimos que todas as IES que ofertam o curso de licenciatura em Química no estado de Goiás, deverão propiciar condições para que o futuro professor desenvolva essa habilidade durante sua graduação. Dessa forma, temos mais um elemento contribuidor da formação pretendida.

Assim, se for realizado esse ensino pautado pela crítica, pela reflexão, preocupado com o uso do conhecimento científico em prol de uma atuação social mais efetiva e consciente dos licenciandos, nos mais diversos aspectos que o conhecimento científico se faz necessário, ele será, sim, capaz de perpassar a sala de aula, atuando e formando seus futuros alunos para a cidadania. Isto posto, as propostas presentes nos PPC e mostradas nos Quadros 4 e 7, aparentemente implicam nessa formação em ciências capaz de propiciar aos licenciandos a alfabetização científica e a formação para a cidadania (VIZZOTTO; DEL PINO, 2020).

Desse modo, pelas análises feitas nos PPC há evidências de que as IES do estado de Goiás estão conduzindo a formação dos licenciandos em Química pelo viés da alfabetização científica, pois todos os documentos trazem, de alguma forma, elementos que indicam uma proposta pedagógica que busca formar cidadãos. Além disso, esses PPC reconhecem as exigências da sociedade atual e descrevem que propiciarão uma formação, que entre outras coisas, será humanística, pautada pela reflexão e pela crítica, preparando o licenciando para o exercício da cidadania, como espera-se de um aluno alfabetizado cientificamente.

No próximo tópico, discutiremos a formação dos professores de Química, em relação à abordagem da temática Radioatividade, considerando a análise relacionada às propostas pedagógicas apresentadas nos PPC de Licenciaturas em Química do estado de Goiás.

5.2 ABORDAGEM DA RADIOATIVIDADE NA FORMAÇÃO DOS PROFESSORES DE QUÍMICA

Para esta categoria foram analisados 17 PPC, os quais constituem o *corpus* desta tese, as unidades de análise escolhidas foram: radioatividade, radioativo, radioquímica, química nuclear, resíduo radioativo, resíduo nuclear, acidente nuclear, acidente radioativo, acidente radiológico e Césio 137. As duas seções dos documentos utilizadas foram os conteúdos programáticos descritos nas ementas das disciplinas obrigatórias e optativas dos cursos, e as referências bibliográficas de todas as disciplinas que compõem os cursos.

Por meio da desmontagem dos PPC nas unidades descritas anteriormente, encontramos apenas três disciplinas específicas sobre Radioatividade, outras nove disciplinas contêm na relação de conteúdos pelo menos um relacionado à Radioatividade. Além disso, cinco PPC apresentam referências específicas sobre a temática, sendo que um deles, o PPC3, cita a referência, mas não descreve em nenhum outro lugar do documento conteúdos relacionados à Radioatividade. Dos 17 PPC analisados, sete não abordam de forma alguma a temática Radioatividade.

O Quadro 11 apresenta as informações a respeito da presença, ou não, da temática Radioatividade nos PPC das IES do estado de Goiás que ofertam licenciatura em Química.

Quadro 11 – Informações a respeito dos PPC, quanto a abordagem da temática Radioatividade

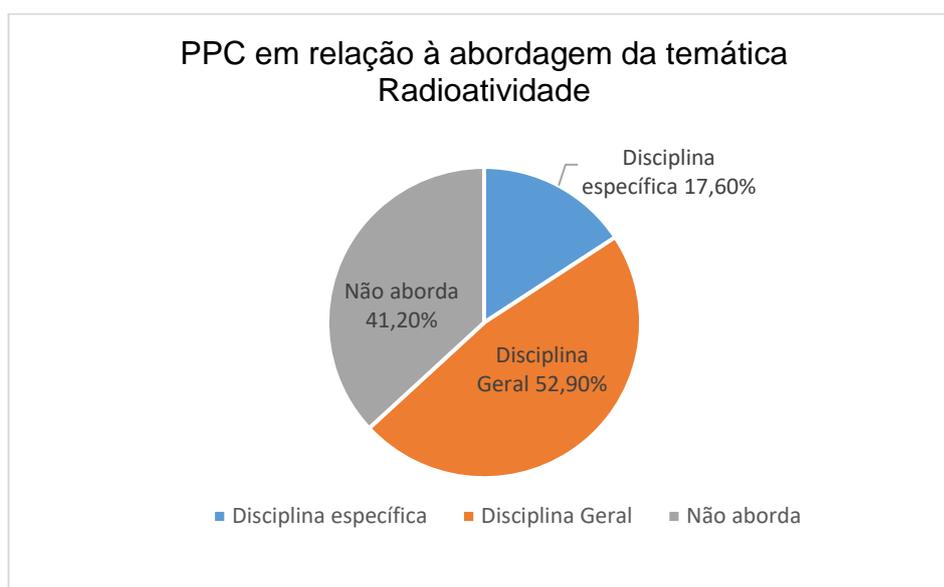
IES	Abordam em Disciplina Específica	Abordagem em Disciplina geral	Não aborda	Possui Referência Específica
PPC1			X	
PPC2		X		
PPC3				X
PPC4			X	
PPC5			X	
PPC6		X		
PPC7			X	
PPC8	X	X		X
PPC9	X	X		X
PPC10			X	
PPC11		X		
PPC12			X	
PPC13		X		X
PPC14	X	X		X
PPC15			X	

PPC16		X		
PPC17		X		

Fonte: Elaborado pela autora.

Para uma melhor visualização, a Figura 29, a seguir, mostra os dados presentes no Quadro 11, em porcentagem.

Figura 29 – Porcentagem dos PPC quanto à abordagem da temática Radioatividade



Fonte: Elaborado pela autora.

Os dados apresentados no Quadro 11 e na Figura 29 evidenciam que não foi dada a devida importância ao acidente radiológico ocorrido em Goiânia, pois há somente três disciplinas específicas (17,6%) sobre Radioatividade, num universo de 16 IES. Já a quantidade de disciplinas específicas que abordam de alguma forma o conteúdo Radioatividade corresponde a 52,9%. Após termos uma visão geral das IES sobre a temática Radioatividade, vamos enfatizar as três disciplinas específicas sobre ela.

O Quadro 12 apresenta informações completas a respeito da oferta de três disciplinas específicas sobre Radioatividade por parte das IES, os nomes das disciplinas, as ementas, a carga horária de cada uma e se a disciplina é obrigatória ou optativa.

Quadro 12 – Nomes, ementas, carga horária das disciplinas específicas sobre a temática Radioatividade

Instituição	Nome da Disciplina	Conteúdo descrito na ementa relacionado a Radioatividade	Carga horária	Obrigatória ou Optativa
PPC8	Química Nuclear e Radionuclídeos	Átomos e núcleos: Teoria atômica, gases, átomo e luz, estrutura nuclear, tamanhos e massas dos núcleos, Energia de ligação; Radiatividade: Lei do decaimento, Medida da meia-vida; Radiação e Matéria, Aceleradores de Partículas, Medicina Nuclear, Reações Nucleares, Energia de Ligação, Aplicações da Química Nuclear: Radioterapia, Radioisótopos, Imagens em Medicina.	27h	Optativa
PPC9	Radioquímica	O núcleo atômico: fissão e fusão nuclear; decaimento radioativo, interações entre partículas e matéria; Desintegração radioativa; Radioatividade natural e as leis da transformação radioativa; Reações nucleares; Reatores Nucleares; Radioproteção; Aplicações da Ciência Nuclear na Química e demais áreas do conhecimento	54h	Optativa
PPC14	Química Nuclear	O núcleo dos átomos. Estabilidade e a relação entre nêutrons/prótons. Tipos de decaimento. Séries de decaimentos. Reações nucleares: Fissão. Cinética da degradação radioativa. Datação com carbono radioativo. Reações nucleares: Fusão. Aplicações de radioisótopos na indústria. Aplicações de radioisótopos na agricultura. O uso das radiações na medicina. Acidentes nucleares.	36,7h	Optativa

Fonte: Elaborado pela autora.

O número reduzido de IES que ofertam disciplinas específicas sobre Radioatividade, cujos documentos foram denominados de PPC8, PPC9 e PPC14 é um dado preocupante, pois corresponde a 17,6% das IES presentes no estado de Goiás que ofertam licenciatura em Química, um número muito pequeno diante da importância dessa temática. É importante destacar que mesmo em número reduzido, a presença das disciplinas específicas sobre Radioatividade é algo positivo para a formação dos futuros professores de Química. Entretanto, quando se faz a análise minuciosa do Quadro 12, deparamo-nos com alguns problemas quanto à oferta dessas disciplinas.

Dois problemas identificados inicialmente, referem-se ao fato de as disciplinas serem optativas e à baixa carga horária dessas disciplinas. O primeiro configura-se um problema uma vez que, nem todos os alunos do curso de licenciatura em Química irão cursá-las, não tendo, dessa forma, um amplo alcance na formação dos futuros professores.

Já para o segundo problema, a baixa carga horária das disciplinas ofertadas, indagamo-nos se em 27h, por exemplo, é possível trabalhar tantos conteúdos com os alunos, como está descrito na ementa da disciplina Química Nuclear e Radionuclídeos, ainda mais se esses conteúdos forem trabalhados numa perspectiva crítica e reflexiva, com o propósito de alfabetizar cientificamente os alunos, como deve ser. Argumentamos que, com essa carga horária, pode ser que a abordagem deixe a desejar e que, no máximo será possível contemplar esses conteúdos, ou talvez, parte deles, por meio do método tradicional de transmissão e recepção, tão criticado por pesquisadores (FREIRE, 2011a; SCHNETZLER, ARAGÃO, 1995).

Outro problema identificado e para nós o mais importante, está relacionado aos conteúdos abordados nas disciplinas. Ao compararmos as ementas, verificamos que existem conteúdos comuns entre elas, como o átomo e seu núcleo, decaimento radioativo, emissões de radiação alfa, beta e gama, reações nucleares de fissão e fusão, além das aplicações em diversas áreas. Entendemos que esses conteúdos são importantes e devem ser ensinados aos licenciandos para que eles tenham conhecimento teórico para balizar suas discussões na educação básica, fazendo um contraponto entre os benefícios e malefícios da Radioatividade.

Entretanto, não basta ensinar os conceitos envolvidos na temática, o aluno precisa se apropriar desses conceitos para se alfabetizar cientificamente, e um dos caminhos para essa apropriação é a inserção de discussões envolvidas no ensino de tal temática. Para Freire (1997, p. 42) “[...] ensinar é um ato criador, um ato crítico e não mecânico”, assim, é preciso transcender o ensino do conteúdo Radioatividade e também abordar e discutir os acidentes ocorridos no mundo, sejam radioativos ou radiológicos, como o ocorrido em Goiânia com uma fonte de Césio 137, pois “[...] a localidade dos educandos é o ponto de partida para o conhecimento que eles vão criando do mundo” (FREIRE, 1997, p. 44).

Verificamos que apenas a ementa da disciplina Química Nuclear, presente no PPC14, deixa claro que abordará “Acidentes nucleares”. Nas ementas das disciplinas constantes nos PPC8 e PPC9 em nenhum momento aparece essa abordagem. Sendo essas instituições do estado de Goiás seria de suma importância a discussão sobre os acidentes nucleares, tendo em vista que o professor de Química, quando em aula do ensino básico, teria um importante papel de também fazer essa discussão.

Entendemos ser importante e necessária a articulação entre os conteúdos escolares e a realidade do aluno, possibilitando ao estudante a compreensão do mundo em geral (ALMEIDA; BOFF; LOPES, 2020), afinal, devemos buscar construir um ensino em que se pratique a pedagogia da pergunta, como já dizia Freire (2006b). Uma das formas de se fazer essa articulação seria justamente o professor utilizar uma situação real e abordá-la sob o ponto de vista da Química (RAMOS, 2017). Refletindo com Freire e Shor (1986), podemos inferir que esta forma de abordagem iria ao encontro da pedagogia situada defendida pelos autores, na qual o processo de aprendizagem é pensado levando-se em consideração a realidade local na qual esses alunos estão inseridos.

Ainda nesse viés, e indo mais além, talvez entre os alunos haja algum que tem ou teve parentes vítimas do acidente, ou mesmo que tenha feito parte das equipes que atuaram na frente de trabalho à época do acontecimento. Essa pessoa poderia ser convidada para proferir uma palestra ou participar de uma roda de conversa com os alunos, colocando o seu ponto de vista sobre o acidente e suas consequências. Isso possibilitaria ao professor fazer uma discussão conjunta com os alunos sobre os fatos ocorridos, entrelaçando o conhecimento científico, o acidente e suas consequências.

Para que essas abordagens que valorizam o contexto local sejam possíveis, é necessário mudar, em vários aspectos, a atual formação que os licenciandos vêm recebendo, entre eles está o currículo, pois “[...] o currículo atual não responde as necessidades da sociedade” (MOURÃO; GHEDIN, 2019, p. 5) e ainda, de acordo com Freire (2006b, p. 80) “[...] a formação do educador deve instrumentalizá-lo para que ele crie e recrie a sua prática através da reflexão sobre o seu cotidiano”. Argumentamos que essa instrumentalização não vem sendo oferecida pelas IES do estado de Goiás, aos seus alunos, em relação à temática Radioatividade considerando-se o pouco número de cursos que abordam o tema, a abordagem em disciplinas optativas e as poucas disciplinas existentes de caráter conteudista sem levar em conta discussões sobre o acidente ocorrido em Goiânia.

Nesse sentido, a formação inicial se mostra fundamental para o preparo do futuro professor, para SOARES *et al.* (2012):

[...] a formação inicial do professor precisa ser repensada e reformulada, pois, geralmente, trata-se o aluno/futuro professor como um ser passivo e receptor de conhecimentos e a futura prática profissional cobrarão dele criatividade e capacidade de intervenção nas situações cotidianas, sem que ele tenha refletido sobre isso. A ruptura com esse ensino descontextualizado torna-se extremamente conflituosa, pois o professor sente-se injustiçado pela forma como lhe é cobrado àquilo que não lhe foi oferecido (SOARES *et al.*, 2012, p. 72).

As palavras de Soares *et al.* (2012), mesmo ditas há quase uma década, ainda são atuais e vão ao encontro das críticas feitas anteriormente, ratificando-as e deixando claro que parece haver uma dicotomia entre a formação e a atuação do licenciado, ou seja, entre a teoria e a prática, no caso específico da abordagem sobre Radioatividade, pois se o futuro professor de Ciências/Química não tem acesso ou tem um acesso limitado a esse conteúdo durante a sua formação, terá dificuldades em ensinar e contribuir com os estudantes da educação básica em relação ao tema na perspectiva da alfabetização científica.

É importante lembrar que o ensino de ciências tem como um dos seus principais objetivos a alfabetização científica na perspectiva da relação entre os saberes específicos de uma área e os fatores que influenciam a construção do conhecimento científico histórico e cultural, além de ser um processo contínuo, que deve levar em consideração as transformações da sociedade e a evolução dos conhecimentos (SASSERON, 2015). Nesse sentido, o acidente que ocorreu em Goiânia parece não ter recebido a devida importância no processo de formação do licenciando, assim, podemos inferir que há uma lacuna na formação dos professores de Química do estado de Goiás, prejudicando-os futuramente, no exercício de sua profissão.

Ainda nesse viés, diante dos problemas apresentados anteriormente, podemos questionar o papel das IES do estado de Goiás, em relação à qualidade formativa dos licenciandos. Nas palavras de Serra (2012, p. 26), em relação à formação de professores de ciências “[...] vale um questionamento quanto ao papel das instituições de ensino superior nessa formação e se as mesmas estão preparadas para formar futuros docentes que atendam às necessidades da sociedade contemporânea”.

Na compreensão de Freire (2006b),

[...] a universidade tem responsabilidade social a cumprir junto com os demais graus de ensino e uma contribuição fundamental a dar no que diz respeito à

compreensão do conhecimento, às perspectivas de avanço nas diferentes dimensões do conhecimento bem como nas questões de formação dos profissionais que atuam nas redes de ensino (FREIRE, 2006b, p. 81).

Ratificando essas posições, é necessário que as IES consigam suprir as demandas exigidas pela sociedade atual, propiciando uma formação ampla que aborde conhecimento teórico sólido, como previsto nos documentos balizadores, para que o futuro professor possa trabalhar com os alunos da educação básica todos os conteúdos presentes na matriz curricular, numa perspectiva crítica, reflexiva, contextualizada e histórica. Isto posto, para Corrêa e Marques (2016, p. 414) “[...] os cursos de licenciatura precisam ser considerados locais privilegiados para a formação específica em Química, mas também como locais para a reflexão sobre ensinar Química e sobre a docência enquanto profissão carregada de valores políticos e éticos”, logo é preciso que as IES deixem de enfatizar apenas as técnicas e passem a enfatizar também o contato crítico com a realidade (FREIRE; SHOR, 1986).

Além disso, uma das formas de atender às demandas da sociedade atual é a aproximação entre as IES e as escolas, para que as primeiras tenham conhecimento da realidade da educação básica e repensem o seu ensino e a formação que estão propiciando aos licenciandos (FREIRE, 2006b). Para que, dessa forma “[...] o conhecimento com o qual se trabalha na escola seja relevante e significativo para a formação do educando” (FREIRE, 2006b, p. 83), e para que isso ocorra, segundo Freire (2006b, p. 103) “[...] o professor tem o dever de “reviver”, de “renascer” a cada momento de sua prática docente para que os conteúdos que ensina sejam algo vivo e não noções petrificadas”. Entendemos que esse é um dos caminhos possíveis em busca de formar cidadãos críticos e participativos na sociedade e que só será alcançado se o professor for preparado, durante a sua formação, para enfrentar os desafios de sua profissão.

Continuando o nosso caminhar, o Quadro 13 apresenta os dados em relação às disciplinas gerais em cujas ementas aparece o conteúdo Radioatividade e/ou algum conteúdo relacionado a essa temática.

Quadro 13 – Nomes e ementas das disciplinas gerais que abordam de alguma forma a temática Radioatividade

Instituição	Nome da Disciplina	Conteúdo descrito na ementa relacionado a Radioatividade	Carga horária (h)	Obrigatória ou Optativa
PPC2	Química Fundamental II	Radioatividade	60	Obrigatória
PPC6	Química Descritiva	Propriedades radioativas dos elementos	32	Obrigatória
PPC8	Química, Meio Ambiente e Sociedade	Resíduos Radioativos	54 (27 EAD)	Obrigatória
PPC9	Química Ambiental	Resíduos Radioativos	54	Obrigatória
PPC11	Química Ambiental	Resíduos Radioativos	54	Obrigatória
PPC13	Oficial Pedagógica I	Introdução e discussão do tema radioatividade e seus conceitos (história, espectro eletromagnético, radiação natural e artificial, elementos radioativos, meia-vida, etc) e sua abordagem no ensino médio. Produção de resumos, resenhas e/ou esquemas sobre vídeos, textos e outros meios de informação relacionados ao tema radioatividade, aos assuntos abordados em Química Geral I e outros com abordagem em nível médio.	67	Obrigatória
PPC14	A) História da Química B) Fundamentos da Física Moderna	A) Radioatividade B) Física e energia nucleares: núcleo atômico; decaimento radioativo; fissão e fusão nucleares.	Ambas 36,7	A) Obrigatória B) Optativa
PPC16	Estrutura e Propriedade da Matéria	Química Nuclear e Radioatividade	68	Obrigatória
PPC17	Estrutura e Propriedade da Matéria	Química Nuclear e Radioatividade	68	Obrigatória

Fonte: Elaborado pela autora.

Considerando os dados do Quadro 13, identificamos que das dezesseis instituições que tiveram seus PPC e ementas analisados, oito possuem disciplinas que de alguma maneira, abordam a temática Radioatividade. No entanto, em algumas delas como no PPC2, PPC14 na disciplina de História da Química, PPC16 e no PPC17 aparecem apenas as palavras Radioatividade e Química nuclear, não descrevendo quais conceitos serão trabalhados dentro desses conteúdos.

A disciplina Química Descritiva presente no PPC6, evidencia que irá trabalhar somente as propriedades radioativas dos elementos. Já os PPC8, PPC9 e PPC11, nas disciplinas Química, Meio Ambiente e Sociedade e Química Ambiental explicitam que será trabalhado apenas o conteúdo de resíduos radioativos. Uma observação importante é que todas essas disciplinas são obrigatórias, logo, os conceitos, mesmo

sendo pontuais e estando longe do ideal, serão discutidos com todos os alunos, tendo um amplo alcance. Pode até ser que ao abordar resíduos radioativos, o professor discuta as principais fontes de resíduo e aborde o acidente ocorrido em Goiânia, no entanto, isso é apenas uma suposição.

O mesmo não ocorre com a disciplina Fundamentos da Física Moderna, apresentada no PPC14, que é optativa. Apesar de essa disciplina ter uma abordagem significativa dos conteúdos constituintes do tema Radioatividade, ela não contempla na ementa os acidentes nucleares. Mas isso não seria um problema, se a disciplina Química Nuclear ofertada por essa mesma instituição, fosse obrigatória, já que sua ementa contempla os acidentes nucleares (Quadro 13). Esse fato nos remete à falta de planejamento ou mesmo de conhecimento da história local por parte dos docentes desta IES ao construir o currículo, pois temos duas disciplinas que abordam a mesma temática colocadas como optativas.

Isto posto, infere-se que os alunos formados na IES cujo PPC foi denominado de 14 terão maiores chances de ter contato com as discussões a respeito do acidente ocorrido em Goiânia, quando comparado com alunos formados nas demais instituições, uma vez que esta é a única IES que explicita na ementa a abordagem dos acidentes nucleares. É importante ressaltar que essa IES está localizada no interior do estado de Goiás e não na capital, Goiânia, local onde ocorreu o acidente.

Outro destaque são os conteúdos descritos na ementa do PPC13 que, mesmo não deixando claro se vão abordar acidentes radiológicos, traz uma ementa bem interessante sobre a temática, explicitando a importância deste conteúdo para a educação básica e mostrando a metodologia que será utilizada para ensiná-lo. Pela metodologia proposta, fica claro que muito provavelmente os conteúdos serão trabalhados de forma contextualizada, crítica e reflexiva, permitindo que os alunos participem ativamente do processo de ensino e aprendizagem, tendo o professor o papel de mediador no processo. Aproximando-se assim, do que Freire e Shor (1986, p. 27) compreendem como educação libertadora, na qual “[...] tanto os professores como os alunos devem ser os que aprendem. Devem ser os sujeitos cognitivos, apesar de serem diferentes. [...] tanto os professores como os alunos sejam agentes críticos do ato de conhecer”. Dessa forma, é possível preparar melhor os professores formados por essa IES para discutir a temática com seus alunos da educação básica, conduzindo suas aulas pelo viés da alfabetização científica.

Observamos que os PPC1, PPC4, PPC5, PPC7, PPC10, PPC12 e PPC15, nas ementas, nas referências e em nenhum outro lugar do texto, aparece a palavra Radioatividade ou outras relacionadas na unidade de análise, como química nuclear e acidentes nucleares. O destaque é devido ao fato de duas dessas instituições, PPC1 e PPC4, estarem localizadas na capital do estado de Goiás, Goiânia, local onde aconteceu o acidente radiológico, em 1987.

A partir dos dados, fica evidente que mesmo com o trágico acidente radiológico ocorrido em Goiânia, as instituições de ensino superior não lhe deram a devida importância, pois, até hoje, 34 anos depois, alguns cursos de formação de professores de Química ainda não contemplam ou não contemplam de maneira satisfatória o tema Radioatividade. É preciso compreender que a formação de professores de Química para a sociedade atual tem diversos aspectos e características que se inter-relacionam e que devem ser levados em consideração, incluindo o contexto no qual o licenciando está inserido. Segundo Silva e Ferreira (2006),

Assim sendo, as necessidades em geral, e em particular as de formação, [...] à área de ensino de Química, envolvem múltiplas relações e determinações entre ensino, aprendizagem e conhecimento químico em um contexto sociocultural específico. Isso significa que não se pode apreendê-las independentemente dos sujeitos que as percebem, para si ou para outro, e dos contextos que as geram ou viabilizam a sua consciencialização (SILVA; FERREIRA, 2006, p. 44).

Ratificando assim, a importância de um ensino pautado pelo contexto dos licenciandos que, além dos aspectos supracitados, também precisa ser pensado em termos da atuação docente, pois muito provavelmente ela ocorrerá na mesma localidade ou região em que este futuro profissional está sendo formado.

Ainda nesse viés, a temática é importante tanto na perspectiva científica quanto histórica e, dessa forma, os cursos deixam a desejar em termos de formação dos futuros professores. Sobre tal formação, Chassot (2018) recomenda que

[...] saibamos como deixar de fazer um ensino asséptico, e sim vinculá-lo cada vez mais com a realidade dos alunos e dos professores; esforçar-nos para migrar do abstrato para uma realidade mais concreta, mostrando um mundo mais real numa linguagem mais inteligível; aprender a sermos menos dogmáticos para conseguirmos trabalhar com incertezas; não tratar o conhecimento de uma maneira a-histórica, garimpando mais nos rascunhos do passado [...] (CHASSOT, 2018, p. 126-127).

Considerando que os professores formados por essas instituições irão atuar na educação básica e, provavelmente, ministrarão a seus alunos o conteúdo de Radioatividade, uma vez que este está presente nos livros didáticos e na matriz curricular do Ensino Médio, é necessário que “[...] além de conhecer a matéria que ensina, é importante ao professor conhecer a história daquilo que ensina e, conseqüentemente, o processo de produção do conhecimento” (MARQUES, 2015, p. 6), e é preciso enfatizar que não se separa o mundo da prática do mundo da teoria (FREIRE, 2006b).

Dessa forma, para se ter um ensino de Química que realmente faça sentido para o aluno é necessário que o professor tenha acesso a uma formação sólida que contemple o conhecimento químico, que não seja a-histórica e, para que isso ocorra é preciso que os professores formadores compreendam que “[...] a docência, portanto, além da capacitação científica, exige o domínio de práticas de ensino e de aprendizagem consideradas no âmbito da ciência, da cultura e da sociedade” (SCHNETZLER; SOUZA, 2018, p. 10).

Importante destacarmos que, além de dominar o conhecimento científico, é essencial o domínio pedagógico dos conhecimentos químicos e esse domínio é tanto para o licenciando quanto para o professor formador (SCHNETZLER; SOUZA, 2018). No entanto, as evidências da pesquisa mostram que essa formação almejada não vem sendo propiciada, pois cerca de 42% dos cursos de Licenciatura em Química de Goiás, sete cursos, não contemplam a temática Radioatividade.

Passamos agora para a análise das referências. Nessa unidade foram pesquisadas as unidades de análise sobre a temática Radioatividade. Um fato constatado foi a baixa quantidade de referências específicas sobre a temática, somente cinco PPC. Os recortes a seguir foram retirados dos PPC que adotam referências específicas sobre a temática.

Figura 30 – Referências específicas sobre Radioatividade presentes no PPC3

PORTO, Cleoman. Radioatividade e suas aplicações: teoria e exercícios, resolução comentada. Brasília: Ednub, 2001. | Vol. Único - ex. 1 | 539.16 | P853r

Fonte: Documentos da pesquisa.

Figura 31 – Referências da disciplina Química Nuclear e Radionuclídeos do PPC8

Bibliografia Básica

1. MURRAY, R. I. **Energia nuclear: Uma introdução aos conceitos, sistemas e aplicações dos processos nucleares.** São Paulo: HEMUS, 2004.
2. KOTZ/ TREICHEL. **Química Geral e Reações Químicas.** Vol. 2 Ed LTC. 3° ed: 1996

Bibliografia Complementar

- TALAMONI, J. **Radioquímica.** São Carlos: IFQSC, 1989.
- ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente.** 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- PASSOS, N. H. S.; SOUZA, A. A. **Química nuclear e a radioatividade.** 2 ed. São Paulo: Átomo, 2012.

Fonte: Documentos da pesquisa.

Figura 32 – Referências da disciplina Radioquímica do PPC9

Bibliografia

Básica:

- ATKINS, P. **Físico-Química.** 7. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2004. vol. 2.
- KELLER, C. **Radioquímica.** Trad. de Carlos Dantas et alii., Recife, Universidade Federal de Pernambuco, 1981. MAFRA, O. Y. **Técnica e medidas nucleares.** São Paulo, Edgard Blucher Ltda, 1973.
- MAFRA, O. Y. **Técnica e medidas nucleares.** São Paulo, Edgard Blucher Ltda, 1973. (Não há exemplares)

Complementar:

- GILBERT CASTELLAN; "Fundamentos de Físico-Química"; LTC Editora, 1a ed., 1986.
- KAPLAN, I. **Física Nuclear.** Trad. de José Goldenberg, 2ª ed., Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1978.

Fonte: Documentos da pesquisa.

Figura 33 – Referências da disciplina Oficina Pedagógica 1 do PPC13

<p>Bibliografia Complementar BETTELHEIM, Frederick A. et al. Introdução à química geral. 9. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012. MOL, Gerson et. al. Constante de Avogadro: é simples determiná-la em sala de aula. Química Nova na Escola, n. 3, maio de 1996, p. 32-33. MORTIMER, Eduardo Fleury; MACHADO, Andrea Horta. Química – Ensino Médio. v. 1; 3ª ed. São Paulo: Scipione, 2016. MORTIMER, Eduardo Fleury; MACHADO, Andrea Horta. Química – Ensino Médio. v. 2; 3ª ed. São Paulo: Scipione, 2016. PASSOS, Christian Ricardo Silva. Radioatividade em foco: o que os estudantes do ensino médio pensam/sabem sobre o tema? In: XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química (XVIII ENEQ) Florianópolis, SC, Brasil – 25 a 28 de julho de 2016. RUSSELL, John B. Química geral. v.1., 2. ed. São Paulo: Makron Books, 2009. SILVA, Roberto Ribeiro; ROCHA FILHO, Romeu C. Mol: uma nova terminologia. Química Nova Na Escola, n. 1, maio de 1995, p. 12-14.</p>

Fonte: Documentos da pesquisa.

Figura 34 – Referências da disciplina Química Nuclear do PPC14

<p>Bibliografia Básica SAFFIOTI, W. Fundamentos de Energia Nuclear. Petrópolis: Vozes, 1982, 177 p. BROWN, Theodore L. Química: a ciência central. 9. ed. São Paulo, SP: Pearson, 2005. LEE, J. D. Química inorgânica não tão concisa. 5. ed. São Paulo, SP: Blucher, c1999. xiii, 527 p.</p>
<p>Bibliografia Complementar WALTON, H.F. The Curie-Becquerel Story. Journal of Chemical Education, Janeiro 1992, V. 69, n. 1. RUSSEL, J. B. Química Geral, V. 2, Ed, Makron Books, 2a Ed., 1994 FARIAS, R. F. A Química do Carbono 14, Química nova na escola, n 1, 2002. ATKINS, P.; LORETTA, J. Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007. APOSTILA EDUCATIVAS, Centro Nacional de Energia Nuclear. Disponível em: http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/apostila-educativa</p>

Fonte: Documentos da pesquisa.

Dos 17 PPC analisados, os quais possuem 12 disciplinas que abordam de alguma maneira o tema Radioatividade, sejam específicas ou gerais, somente cinco indicam referências específicas sobre a temática, os demais PPC utilizam como referências livros de Química Geral, sendo que os três mais citados são Atkins; Jones (2004; 2006; 2007), Kotz; Treichel; Weaver (1996) e Brown *et al.* (2005). Esse fato se mostra preocupante, pois, apesar de serem bons livros em relação aos conceitos presentes no conteúdo Radioatividade, não abordam os acidentes radioativos e radiológicos ocorridos no mundo, logo, não contemplam o acidente ocorrido em Goiânia.

Entendemos que, mesmo sendo traduções de livros escritos por cientistas americanos, ingleses e de outras nacionalidades, o acidente ocorrido em Goiânia e outros, como o de Chernobyl, ficaram conhecidos internacionalmente. Logo, era de se esperar que estes fossem abordados nestes livros que possuem capítulos sobre Radioatividade ou Química Nuclear. Afinal temos que considerar que “[...] formar é

muito mais do que puramente treinar o educando no desempenho de destrezas” (FREIRE, 2011b, p. 16), desse modo, não basta ensinar os conceitos científicos, é preciso ir além, ou seja, relacioná-los com os fatos que os envolvem.

Essa constatação, evidencia que o descaso com os acidentes radioativos ou radiológicos não é um problema presente apenas nos PPC das IES do estado de Goiás, mas também um problema que permeia os livros didáticos de Química voltados ao ensino superior, o que configura um problema de ordem internacional, ratificando dessa forma, a nossa crítica à falta da devida importância aos acidentes já ocorridos no mundo envolvendo materiais radioativos. Por meio dessa amostragem de livros, podemos também inferir que é possível que outros livros de Química geral indicados nas ementas também não abordem os acidentes ou se abordam é muito provável que a abordagem seja superficial, não dando a devida profundidade necessária a todos os aspectos envolvidos nos acidentes.

Observamos novamente que os PPC8, PPC9 e PPC14 se destacam em relação aos demais, trazendo de duas a três referências específicas sobre Radioatividade, as quais poderão contribuir e permitir que o professor faça uma abordagem e uma discussão mais aprofundada e ampliada sobre os conteúdos presentes na temática Radioatividade com os alunos. No entanto, há uma questão importante a ser levantada, nenhum dos livros indicados nas referências é específico sobre o acidente. No entanto, sabemos que há na literatura, inclusive goiana, livros que retratam o acidente sob diferentes perspectivas e que poderiam ser utilizados pelos docentes, como exemplos, temos os livros: “Eu também sou Vítima”, de Weber Borges e “CÉSIO-137 – Consequências psicossociais do acidente de Goiânia” de Suzana Helou e Sebastião B. C. Neto.

Argumentamos ser interessante a adoção de livros específicos sobre o acidente, pois eles trazem múltiplos olhares sobre o ocorrido, enriquecendo as discussões sobre o acidente durante a formação de professores e constituindo subsídio teórico para a atuação dos futuros professores durante as aulas na educação básica. É preciso ter esclarecido que “O que fazemos em classe não é um momento isolado, separado do mundo real. Está totalmente vinculado ao mundo real” (FREIRE; SHOR, 1986, p. 23). Além disso, segundo Schnetzler e Souza (2018, p. 12), “[...] o Ensino de Química ultrapassa o conhecimento puramente científico construído em laboratórios e vai além da mera informação dos avanços da Ciência moderna,

adquirindo, assim, uma função social que denota a importância da Química na vida das pessoas” e compreendemos que uma das formas de se trazer o mundo para dentro da sala de aula seja por meio da adoção de materiais didáticos diversificados.

Diante do exposto, ficam evidentes os problemas relacionados ao material didático escolhido pelas IES para trabalhar o conteúdo Radioatividade, corroborando com o que discutem Echeverría, Benite e Soares (2007, p. 3) de que “[...] as deficiências científicas e a pobreza conceitual dos programas de formação de professores são amplamente reconhecidas”, logo faz-se urgente a necessidade de mudanças em vários aspectos nesses cursos, sendo uma delas as referências utilizadas.

A partir disso, diante da complexidade desse processo, uma das possibilidades de melhorar este cenário seria começar pela reformulação dos currículos dos cursos de licenciatura em Química das IES, uns para a inserção da temática Radioatividade e outros para melhorar e complementar a abordagem já existente, especialmente em relação ao acidente radiológico. Segundo Garcia e Kruger (2009, p. 2218) “[...] um currículo é uma construção com dimensões sociais, políticas e de conhecimento” e, para Freire (2006b, p. 24), o processo de reformulação de um currículo não pode ser feito, elaborado e pensado por certos iluminados, cujos “[...] resultados finais são encaminhados na forma de “pacotes” para serem executados de acordo ainda com as instruções e guias igualmente elaborados pelos iluminados”, e sim, levar em consideração que “A reformulação do currículo é sempre um processo político-pedagógico e, para nós, substancialmente democrático”.

Dessa forma, entendemos que o currículo precisa ser reformulado com a participação da comunidade acadêmica que inclui além de representantes do quadro docente, também representantes discentes, pois “Qualquer processo de mudança curricular exige reflexão, discussão e engajamento institucional” (MAXIMIANO, 2018, p. 240), uma vez que é uma construção humana. Já dizia Freire (2011a, p. 89) “[...] o pensar do educador somente ganha autenticidade na autenticidade do pensar dos educandos, mediatizados ambos pela realidade, portanto pela intercomunicação”, logo, é preciso primar pelo diálogo e pela participação da comunidade escolar tanto na reformulação do currículo, quanto em outras questões do ambiente escolar. Além

disso, temos que lembrar que o currículo deve ser pautado pelas especificidades locais e regionais, em detrimento das questões nacionais.

Concordamos com Freire (2006b), também, quando ele diz que:

A priorização da “relação dialógica” no ensino que permite o respeito à cultura do aluno, à valorização do conhecimento que o educando traz, enfim, um trabalho a partir da visão de mundo do educando é sem dúvida um dos eixos fundamentais sobre os quais deve se apoiar a prática pedagógica de professoras e professores (FREIRE, 2006b, p. 82).

Compreendemos que o diálogo, além de ser importante na comunidade escolar também é essencial tanto na escolha dos conteúdos programáticos, quanto dentro da sala de aula em que os professores, sejam da educação básica ou do nível superior, priorizem uma prática pedagógica voltada para a alfabetização científica.

Isto posto, defendemos que a presença da temática Radioatividade nos currículos dos cursos de licenciatura em Química deveria ocorrer, entre outras formas, por meio de disciplinas específicas, obrigatórias, com uma carga horária pertinente à importância do tema e que utilizassem referências específicas sobre Radioatividade, como as encontradas em alguns PPC analisados. Além disso, seria importante a utilização de referências específicas sobre o acidente ocorrido em Goiânia, o que permitiria aos alunos acessar o conhecimento histórico do fato ocorrido.

Nas palavras de Freire (2006b, p. 29), “Para o educador progressista coerente, o necessário ensino dos conteúdos estará sempre associado a uma leitura crítica da realidade”. Nessa perspectiva, seria necessário mudar o perfil do egresso do curso de licenciatura em Química formado atualmente, que segundo Garcia e Kruger (2009, p. 2220), passaria a ser “[...] o de um profissional que tenha adquirido conhecimentos, a partir da experiência, articulados com uma reflexão sistemática e uma interpretação dessa experiência docente [...]”, além disso, o ideal seria que “[...] este professor tenha adquirido uma base sólida de conhecimentos específicos de sua área com maior aprofundamento do que aqueles necessários em nível médio”.

Dessa forma, esse profissional teria condições de discutir com seus alunos da educação básica, com um rico embasamento teórico, os conceitos envolvidos na temática Radioatividade, bem como o acidente radiológico e suas implicações

científicas, econômicas, ambientais, políticas e sociais, propiciando-lhes, além dos conhecimentos científicos, discussões críticas e reflexivas acerca dos aspectos descritos anteriormente em relação ao acidente. Nesse viés, seria possível que esses alunos se apropriassem dos conhecimentos científicos e tivessem condições de se posicionarem criticamente, como cidadãos, em relação à temática.

Em síntese, compreendemos que as mudanças não são simples de serem feitas, pois demandam tempo, esforço, vontade das pessoas, mas são necessárias e fundamentais quando se pretende mudar a formação dada aos professores atualmente. Entendemos também que não basta ter a temática Radioatividade presente nos currículos dos cursos de licenciatura, é preciso abordar o acidente radiológico ocorrido com o Césio 137 e, para isso, é importante ter professores formadores qualificados para conduzir o processo de ensino e aprendizagem de forma crítica e reflexiva, como supramencionado.

5.3 AS INFLUÊNCIAS DA FORMAÇÃO INICIAL EM RELAÇÃO À TEMÁTICA RADIOATIVIDADE NA ATUAÇÃO DOCENTE DOS PROFESSORES DE QUÍMICA DA EDUCAÇÃO BÁSICA

A partir da imersão nas respostas dos questionários, criamos essa nova categoria, mas antes de discuti-la, entendemos ser importante ao leitor desta tese conhecer o perfil dos respondentes dos questionários, que será apresentado a seguir.

5.3.1 Traçando o perfil dos participantes da pesquisa

Responderam ao questionário 44 professores de Química da educação básica das redes pública e privada (identificados na análise de P1 a P44, de acordo com a ordem em que as respostas ao questionário foram recebidas, que não é a mesma do ano de formação), todos licenciados, sendo que 27 atuam na rede pública, seis na rede privada e onze em ambas as redes. Nessa análise do perfil, faremos uma descrição das características desses professores identificadas nos questionários.

O acidente com a fonte de Césio 137 ocorreu há mais de 30 anos, assim, entendemos ser importante a participação nesta pesquisa, de professores formados principalmente após a ocorrência do acidente. A Tabela 3 apresenta o ano de formação dos participantes.

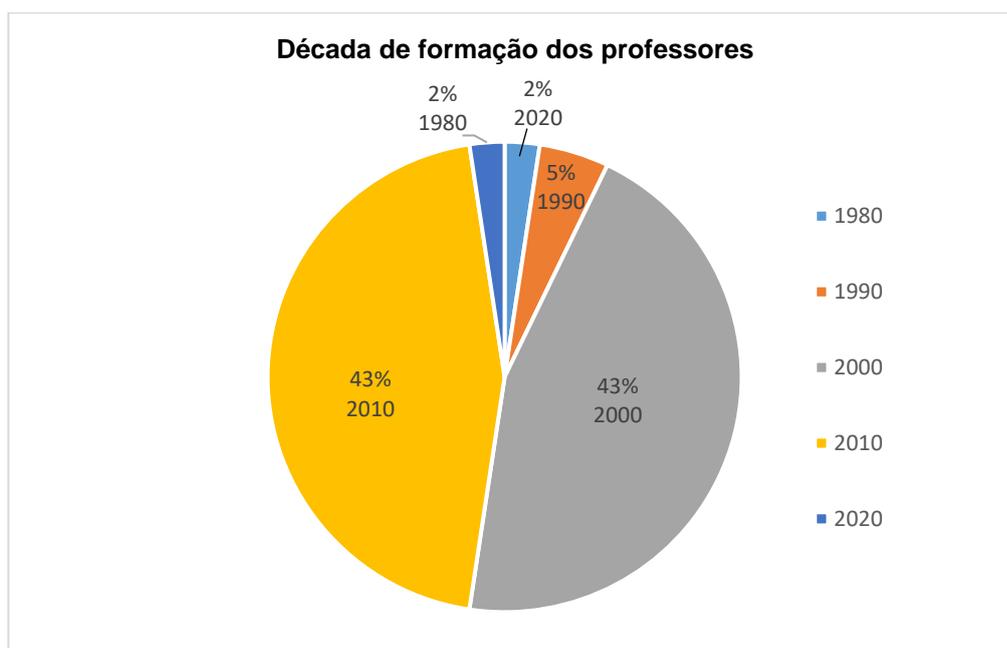
Tabela 3 – Ano de formação e quantidade de profissionais formados em cada ano

Ano de conclusão do curso	Número de professores	Ano de conclusão do curso	Número de professores
1985	1	2010	5
1997	2	2011	3
1998	2	2012	1
2000	1	2013	3
2001	2	2015	2
2002	2	2016	1
2004	5	2017	1
2005	2	2018	2
2006	1	2019	1
2008	6	2020	1

Fonte: Documentos da pesquisa (questionários).

Para melhor visualização, construímos o gráfico, exibido na Figura 35, a seguir, mostrando a porcentagem de professores formados por décadas.

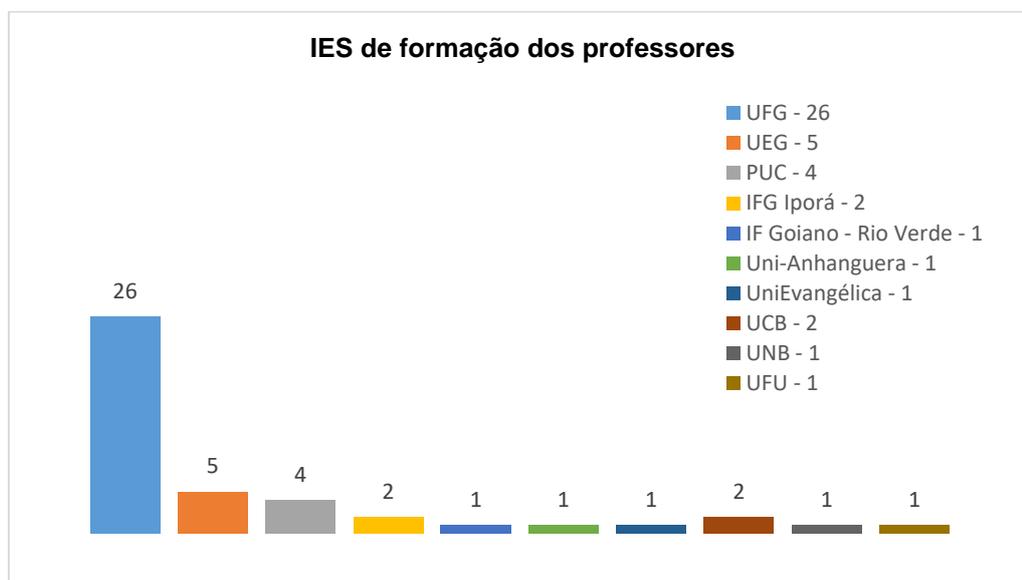
Figura 35 – Porcentagem de professores formados nas décadas de 1980, 1990, 2000, 2010 e 2020



Fonte: Documentos da pesquisa (questionários).

A Tabela 3 e a Figura 35 mostram que o questionário foi respondido por professores formados em anos diferentes, sendo 98% deles após o acidente, somente um dos profissionais foi formado um pouco antes do ocorrido, justamente no ano em que a primeira turma de licenciados em Química do estado de Goiás se forma. Observamos também que a maioria dos participantes foram formados nas décadas de 2000 e 2010, 43% em cada uma delas. A Figura 36 a seguir mostra as IES nas quais os professores se formaram.

Figura 36 – Instituição de Ensino Superior na qual o professor foi formado



Fonte: Documentos da pesquisa (questionários).

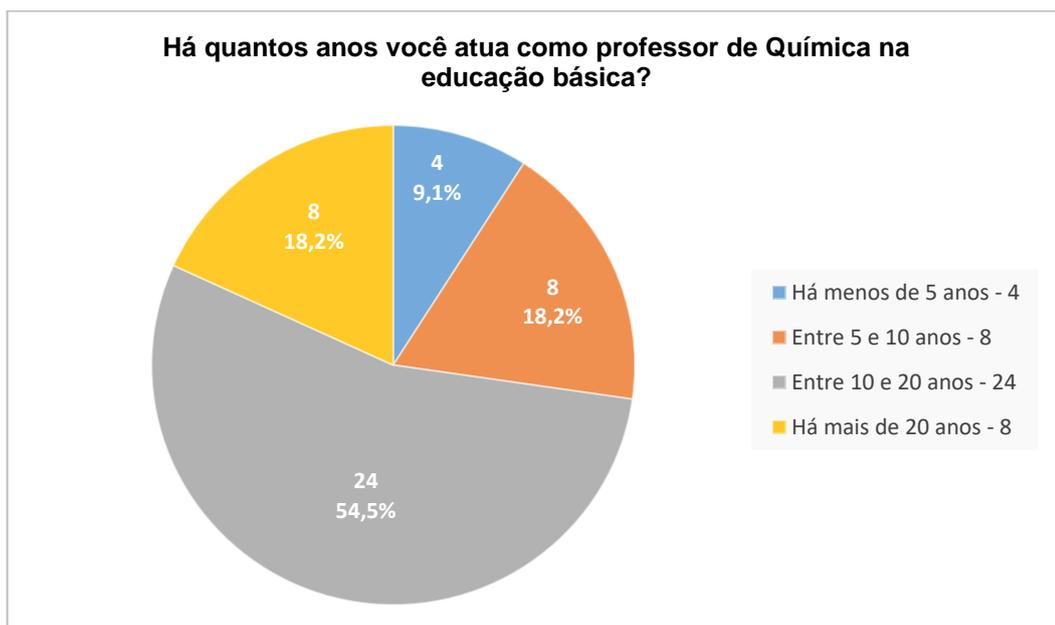
Os dados nos mostram que a formação dos participantes ficou concentrada em algumas IES, 26 (59,1%) professores foram formados pela UFG, o que é coerente, uma vez que esta foi a primeira IES a ofertar o curso de licenciatura em Química no estado de Goiás, e por alguns anos, até 1996, foi a única IES a ofertar esse curso, além disso, ela está localizada na cidade de Goiânia, capital do estado de Goiás (MESQUITA; CARDOSO; SOARES, 2013). As outras duas IES, com maiores números de formandos, são a UEG, com 5 (11,4%) e a PUC, com 4 (9,1%) do total dos participantes. Essas IES foram as primeiras que ofertaram o curso de licenciatura em Química no estado de Goiás depois da UFG, o que contribui, em parte, para esses números. Outro fator é a localização dessas IES, a PUC está localizada em Goiânia e a UEG em Anápolis, uma cidade próxima à capital.

Outros professores foram formados por IES que possuem cursos mais recentes de formação de professores, como os Institutos Federais, os quais passaram a ofertar licenciatura em Química somente após a publicação do decreto n. 6.095 de 2007 e, especificamente, os dois campi, Rio Verde e Iporá, pelos quais os professores participantes foram formados começaram suas atividades em 2010 e 2011, respectivamente (ALVES; MESQUITA, 2020). Isso justifica, em parte, o número pequeno de formandos por essas IES; outro fator é a localização dos IF, pois estão localizados no interior do estado, embora a pesquisa fosse direcionada aos professores que atuam em Goiânia.

Dois professores foram formados por IES privadas, cujos cursos foram extintos nos últimos anos, a Uni-Anhanguera e a UniEvangélica. Outros quatro professores foram formados em IES que não estão localizadas no estado de Goiás e sim próximas, sendo duas no Distrito Federal e uma no estado de Minas Gerais. Importante destacar que nas análises dos questionários em relação à formação docente, as respostas dos participantes formados em outros estados não foram consideradas.

Além da IES na qual o professor foi formado, procuramos saber, o tempo de atuação dos professores na educação básica; os dados levantados são mostrados na Figura 37, a seguir.

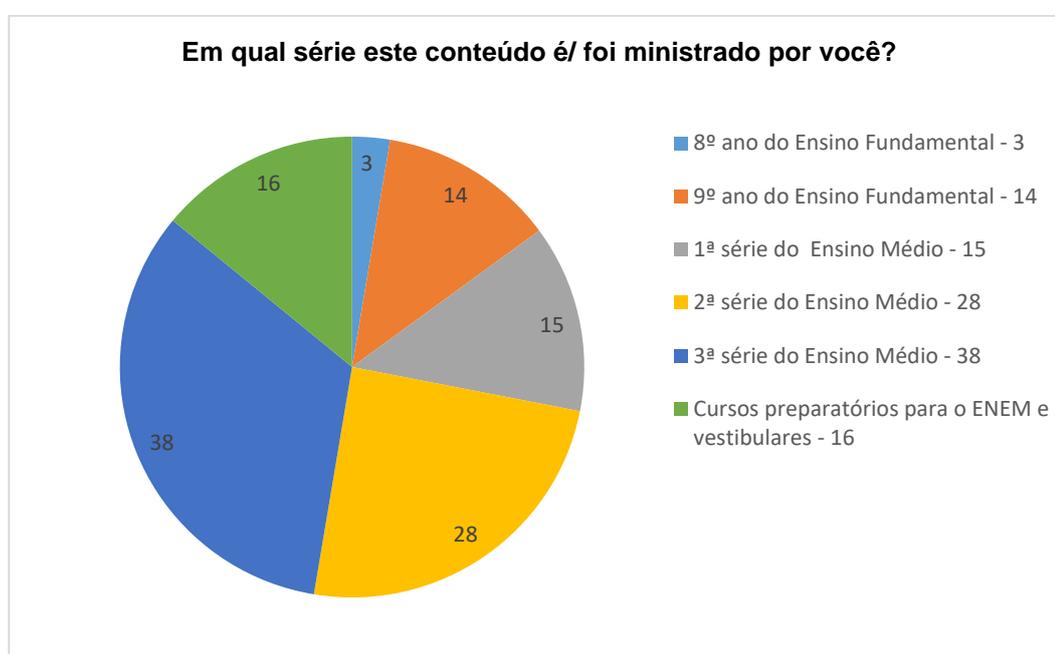
Figura 37 – Tempo de atuação do professor na educação básica



Fonte: Documentos da pesquisa (questionários).

Observamos que a maioria dos participantes atua na educação básica há muitos anos, principalmente entre 10 e 20 anos, são, portanto, professores experientes, que construíram suas carreiras após a ocorrência do acidente com o Césio 137. Isso reforça a importância e a necessidade deles terem tido uma formação durante a graduação, que abordasse a temática Radioatividade, uma vez que, entre outras coisas, todos os professores também responderam que ministram ou já ministraram esse conteúdo em diversas séries da educação básica, como mostra a Figura 38 a seguir.

Figura 38 – Séries de atuação dos professores na educação básica



Fonte: Documentos da pesquisa (questionários).

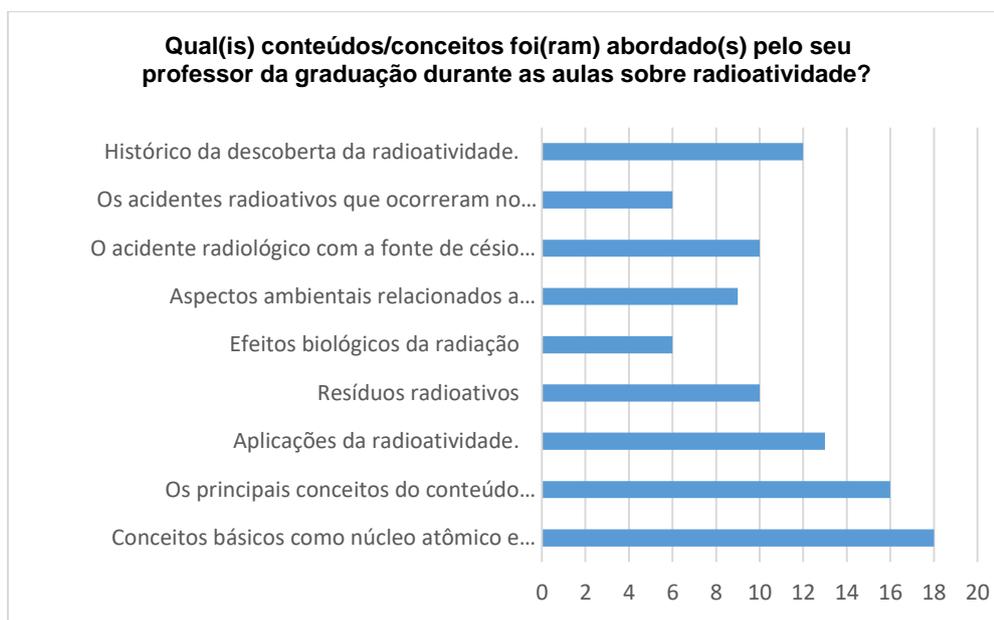
A Figura 38 nos mostra que o conteúdo Radioatividade é amplamente abordado na educação básica, sendo trabalhado desde o Ensino Fundamental, a partir do oitavo ano, até a terceira série do Ensino Médio, além de ser revisto nos cursos preparatórios para o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) e processos seletivos. Ratificamos, assim, a relevância dessa temática para a formação dos professores de Química.

Agora que já conhecemos o perfil dos participantes da pesquisa, vamos compreender a formação que eles tiveram em relação à temática Radioatividade, se ela foi pautada pelo viés da alfabetização científica e as possíveis implicações dessa formação na sua atuação docente.

5.3.2 As influências da formação inicial em relação à temática Radioatividade na atuação docente dos professores de Química da educação básica

Para compreendermos a influência da formação inicial dos professores na ação docente em relação à Radioatividade, primeiramente, vamos compreender como foi essa formação dos licenciados. De todos os respondentes do questionário, formados em Goiás, dezenove disseram que os conteúdos relacionados à temática Radioatividade não foram abordados durante a sua graduação em Química, e vinte responderam que foram abordados, porém estes últimos afirmaram que a abordagem ocorreu em disciplinas gerais, ou seja, os conteúdos foram trabalhados como um tópico, dentro de um universo maior de assuntos estudados. A Figura 39 apresenta os conteúdos citados pelos professores que foram abordados pelos docentes das IES em relação à temática Radioatividade.

Figura 39 – Conteúdos sobre Radioatividade abordados pelos professores da graduação



Fonte: Documentos da pesquisa (questionários).

Como mostra a Figura 39, a maioria dos respondentes afirmou que foram trabalhados principalmente conteúdos básicos, como o núcleo atômico, emissões radioativas, decaimento, tempo de meia-vida dos radioisótopos, reações nucleares de fissão e fusão e aplicações da Radioatividade, em detrimento de outras questões, como por exemplo, efeitos biológicos da radiação, impactos ambientais, discussões

sobre acidentes nucleares e o acidente radiológico de Goiânia. Essas questões são importantes, principalmente quando se pretende propiciar ao aluno uma formação ampla, crítica, reflexiva, pautada pelo viés da alfabetização científica.

Nas palavras de Rosa, Lorenzetti e Lambach (2019), o ensino de Química

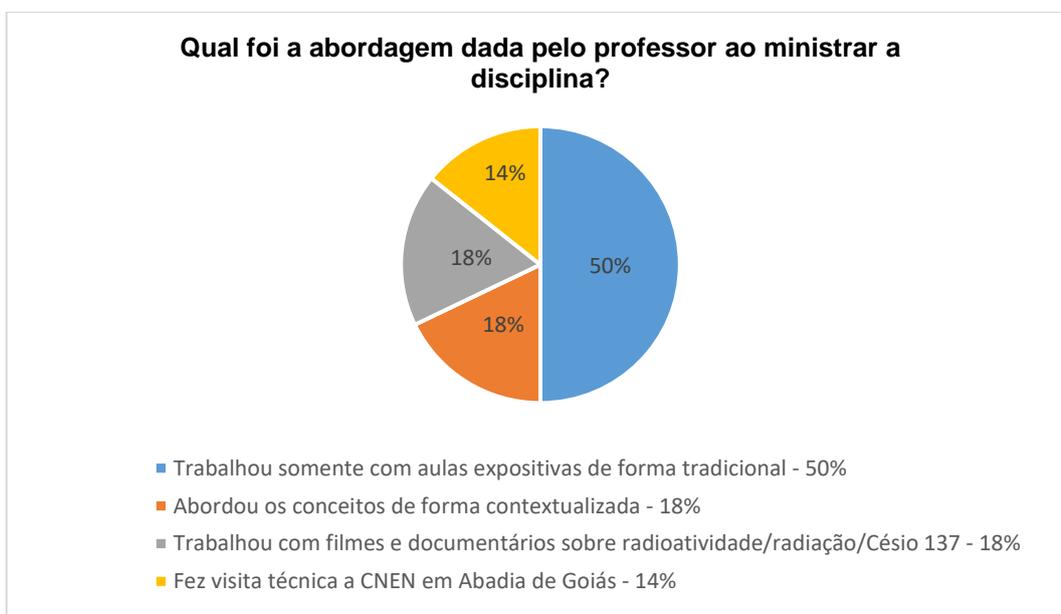
[...] representa a caracterização de uma linguagem científica, construída socialmente para explicar as relações e os fenômenos do mundo, cujos conceitos são transpostos didaticamente em diferentes enfoques e metodologias, para que os indivíduos possam se alfabetizar cientificamente (ROSA; LORENZETTI; LAMBACH, 2019, p. 3).

Ensino este que, de acordo com nossas análises, não vem sendo desenvolvido na sua plenitude nos cursos de licenciatura em Química, no estado de Goiás. Uma dessas evidências é a abordagem do acidente com o Césio 137, pois, conforme mostra a Figura 39, somente dez (47,6%) dos respondentes que estudaram a temática Radioatividade, afirmaram ter estudado sobre o acidente durante a sua graduação. Dessa forma, entendemos que, de modo geral, nesses cursos de licenciatura “[...] os conteúdos são desenvolvidos de forma descontextualizada da realidade do mundo cotidiano dos alunos” (GRESCZYSCAYN; CAMARGO FILHO; MONTEIRO, 2018, p. 196), não cumprindo um dos seus objetivos que deveria ser o estabelecimento da relação entre o conhecimento químico e os fatos que fazem parte da história e da realidade local, afinal, o conteúdo programático deve ser buscado na realidade de quem se pretende ensinar (FREIRE, 2011a).

Isto posto, concordamos com Almeida, Boff e Lopes (2020, p. 4) que é “[...] importante que os conteúdos escolares estejam articulados à realidade objetiva dos estudantes e às possibilidades de entendimento do mundo em geral”, logo, a compreensão dos fatos locais, como o acidente radiológico, contribui também com a compreensão dos fatos mundiais envolvendo conhecimentos científicos. Nas palavras de Freire (1997, p. 45), “[...] o regional emerge do local tal qual o nacional surge do regional e o continental do nacional [...]”. Assim como é errado ficar aderido ao local, perdendo-se a visão do todo, errado é também pairar sobre o todo, sem referência ao local de onde se veio.

Diante disso, ratificamos que a realidade local possui características que enriquecem a formação do licenciando pelo viés da alfabetização científica, por meio de discussões que inter-relacionam o conhecimento químico com o cotidiano sócio-histórico dos alunos, como é o caso do acidente radiológico ocorrido em Goiânia com uma fonte de Césio 137. Mas, aparentemente, essa realidade não vem sendo considerada no processo de formação dos licenciandos, pois somente 14% (quatro professores) afirmaram que fizeram visita a CNEN, local onde estão armazenados os rejeitos do acidente radiológico com o Césio 137, como mostra a Figura 40, que traz também outras informações sobre a abordagem dada pelos professores das IES, ao trabalharem a temática, durante os cursos de formação de professores.

Figura 40 – Abordagem dada pelo professor da graduação ao conteúdo Radioatividade



Fonte: Documentos da pesquisa (questionários).

Ao analisarmos a Figura 40, observamos que 50% dos participantes que estudaram conteúdos relacionados à temática Radioatividade, durante a sua graduação, afirmaram que os professores formadores trabalharam estes conteúdos de forma tradicional e somente com aulas expositivas. Tal fato configura-se como um problema, pois essa forma de abordagem geralmente está relacionada a um ensino baseado na transmissão-recepção, acrítico, no qual o professor expõe o conteúdo, sem problematizá-lo, sem discuti-lo, sem contextualizá-lo com os alunos e estes passivamente, como se fossem tábulas rasas, absorvem o que foi dito pelo professor

sem refletir sobre os conceitos ensinados (FRANCISCO JUNIOR; FERREIRA; HARTWIG, 2008; FREIRE, 2011a; SCHNETZLER; ANTUNES-SOUZA, 2019).

Desse modo, concordamos com Freire (2011b, p. 28), quando ele diz que “[...] ensinar não se esgota no tratamento do objeto ou do conteúdo, superficialmente feito”, e sim, deve ser aprofundado e propiciar ao aluno apreendê-lo para posteriormente ensiná-lo, uma vez que “[...] aprender precedeu ensinar” (FREIRE, 2011, p. 26). Além disso, para Alarcão (2003, p. 16) “[...] não há conhecimento sem aprendizagem” e para que essa aprendizagem realmente ocorra, segundo Teixeira (2019, p. 851), “A forma como são realizadas a seleção de conteúdos e as propostas e condução das atividades são determinantes na aprendizagem”.

Assim, o professor formador deve procurar trabalhar não só os conhecimentos científicos, como também as questões sociais, econômicas, políticas, ambientais e a realidade local, imbricadas nesses conhecimentos e também abordá-los de uma forma problematizadora, na qual haja discussão, contextualização, propiciando ao aluno refletir sobre tais conteúdos, para que eles sejam capazes de se apropriarem do conhecimento científico, haja vista que “O aluno conhece na medida em que, apreendendo a compreensão profunda do conteúdo ensinado, o aprende. Aprender o conteúdo passa pela prévia apreensão do mesmo” (FREIRE, 2006b, p. 120). Dessa forma, seria importante uma formação nessa perspectiva, pois possibilitaria ao licenciado fazer uma discussão também problematizadora na educação básica, propiciando aos alunos a capacidade de utilizar o conhecimento científico para atuar na sociedade e transformá-la para melhor.

Entretanto, a maioria dos professores formados pelas IES do estado de Goiás não teve essa formação almejada e sim, uma formação deficitária em relação à temática Radioatividade, uma vez que esta foi trabalhada de forma tradicional, descontextualizada e focada em alguns conteúdos, apenas, deixando de fazer discussões importantes, como também ficou claro nas análises dos PPC feitas no item 5.2. Isso evidencia que esses cursos deixam lacunas na formação do professor, tanto é que 14 dos 21 professores que estudaram sobre Radioatividade em sua formação inicial, afirmaram, ao responder à questão oito do questionário, que a formação que tiveram não é adequada, como mostram alguns trechos a seguir.

- P1 – *“Não. Porque no meu caso, não tivemos informações além das apresentadas nos livros didáticos. Também, tivemos apenas informação sobre estes pontos e não um aprofundamento no assunto”.*
- P20 – *“Não, deveria ser mais extensivo o conteúdo”.*
- P27 – *“Faltou destacar o contexto histórico e aprofundar na questão da ausência de conhecimento técnico na época”.*
- P28 – *“Não, pois, não há uma disciplina específica. Acredito que uma formação mínima deveria ser se pelo menos um semestre”.*
- P30 – *“Não, há um grande déficit sobre os conceitos de radioatividade na graduação. Os conceitos de transmutação atômica, leis de Soddy, emissões radioativas, não são abordados de forma satisfatória para suprir esse déficit”.*
- P35 – *“Não considere adequada, pois faltou contextualizar, faltou abordagens sociais, políticas, econômicas e até mesmo questões ambientais e de saúde que poderia trabalhar de maneira interdisciplinar não foi trabalhado, lembro que tínhamos a disciplina Bioquímica que poderia trabalhar de forma interdisciplinar”.*
- P38 – *“Não. Quando o assunto foi abordado, na grande maioria das vezes fez referências aos conceitos básicos, sem contextualização”.*
- P42 – *“Nunca. Quando sai da universidade, eu estava crua em relação a esse conceito de radioatividade. Na universidade melhorou um pouco o conteúdo prévio que eu já possuía do ensino médio. Quando tive que ministrar a primeira vez, eu mal conseguia avançar do geral e tinha muita insegurança sobre o tema radioatividade, principalmente em relação ao próprio acidente do Césio”.*
- P44 – *“Não. Acredito que toda ementa do curso de Química, principalmente a licenciatura, deveria contemplar um módulo/semestre de história da ciência e especificamente da Química. O contexto histórico é crucial para que o entendimento dos conceitos sejam melhor compreendidos. Além é claro da história da Química, uma abordagem específica sobre química e física nuclear é extrema necessidade, haja visto que no Ensino Médio, e não somente, a história dos acidentes radioativos é assunto de interesse não somente dos professores mas também dos alunos, sem contar que é um assunto que desperta curiosidade e em se tratando de Goiânia, somos “privilegiados” por termos um belíssimo laboratório de física nuclear na CNEN, que atende ao público tanto para estudo quanto para visita”.*

Isto posto, entendemos que “[...] mudanças são necessárias no ensino de Ciências, por meio de renovação, revisão dos conteúdos, dos métodos e práticas de ensino” (GRESCZYSCAYN; CAMARGO FILHO; MONTEIRO, 2018, p. 201), quando se pretende propiciar uma formação ampla e adequada ao licenciado, capaz de alfabetizá-lo cientificamente e prepará-lo para a atuação e os desafios da sua profissão. Pois, como vimos, há diversos problemas de formação, como apontados pelos professores e eles vão ao encontro das críticas que vêm sendo feitas há alguns anos pelos pesquisadores da área de ensino de Ciências, indicando que é necessário

melhorar a formação dos professores da educação básica (OLIVEIRA; LEIRO, 2019). Segundo Miranda, Suar e Marcondes (2015),

Debates que se referem à formação inicial de professores de química demonstram demasiada importância na procura por novas orientações para o processo formativo dos estudantes de licenciatura, uma vez que ressaltam a primordialidade e urgência em repensar esse processo, que parece não estar sendo suficiente para amparar os futuros professores com uma formação sólida e apropriada à realidade escolar (MIRANDA; SUAR; MARCONDES, 2015, p. 558).

Diante do exposto, é preciso que os docentes das IES compreendam que é importante mudar o ensino que está posto em relação à formação de professores no que concerne à temática Radioatividade, pois “[...] é mudando o presente que a gente fabrica o futuro, por isso, então, a história é possibilidade e não determinação” (FREIRE, 2006b, p.90). Em outras palavras, não é porque temos uma formação docente que apresenta lacunas que temos que continuar assim e, segundo Chassot (2018, p. 131), é preciso que tenhamos “[...] um ensino que busque cada vez mais propiciar que os conteúdos que se emprega para fazê-lo sejam um instrumento de leitura da realidade e facilitadora da aquisição de uma visão crítica da mesma para modificá-la para melhor [...]”, buscando assim, formar “cidadãos e cidadãs críticos”, para que, dessa forma, se propicie uma formação capaz de alfabetizar cientificamente os alunos.

Essa formação deficitária reverbera em diversas dificuldades apresentadas pelos professores durante a sua atuação docente, quando estes precisam ministrar aulas sobre a temática, como foi apontado por alguns dos participantes da pesquisa que estudaram Radioatividade, durante a graduação, ao responderem à questão vinte e um do questionário, como mostrado nos trechos a seguir.

P7 – “Pouco material de divulgação para descarte de resíduos radiológicos no Brasil”.

P28 – “Encontrar uma forma de torná-lo atrativo sem mantê-lo místico. Pois, o senso comum da temática é carregado de influências de filmes e histórias que nem sempre são pautados nos conceitos científicos”.

P30 – “Devido à ausência da abordagem efetiva do conceito na graduação, exigiu estudo dos conceitos de forma paralela, não que estudar seja o problema, mas o estudo individual é distinto do estudo realizado em uma disciplina de um curso de graduação”.

P34 – “Ter a vivência e a experiência prévia sobre o assunto, buscar tudo praticamente do zero é muito complicado, a visita a CNEN até hoje não consegui levar nenhuma turma, não sei como faz e nunca fui, aí está mais algo que deveria ocorrer no curso, a visita e a explicação de como levar suas turmas”.

P35 – “Por incrível que pareça, a parte química”.

Observamos que as dificuldades apontadas pelos professores da educação básica vão desde a compreensão do conteúdo até a melhor forma de abordá-lo com os alunos e compreendemos que tais questões poderiam ter sido sanadas no curso de graduação se os conteúdos tivessem sido trabalhados de forma aprofundada, numa perspectiva problematizadora e abordados em diferentes aspectos pelos professores das IES e, como já discutimos, entendemos que isso não aconteceu.

Após essas análises, ousamos dizer que não há uma acentuada diferença, em termos de formação, entre os professores que não estudaram a Radioatividade na graduação e aqueles que a estudaram de forma superficial e tradicional. Tal compreensão se justifica a partir das análises das respostas à questão vinte e um do questionário dos professores que não a estudaram, pois são semelhantes às respostas daqueles que estudaram, como mostram os trechos a seguir.

P6 – “Explicar como as emissões podem atingir o ser humana e causar danos. Explicar a origem o eleito que irá se transformar em radioativo e como esse processo é realizado”.

P10 – “Estudantes com visões distorcidas sobre o fato”.

P17 – “As maiores dificuldades foram encontrar materiais didáticos de Química com discussões aprofundadas sobre o ensino de radioatividade”.

P21 – “Fontes confiáveis e a falta da disciplina na graduação”.

P23 – “Precisei estudar pelos livros do Ensino Médio pois na literatura básica da graduação os assuntos eram muito pouco abordados”.

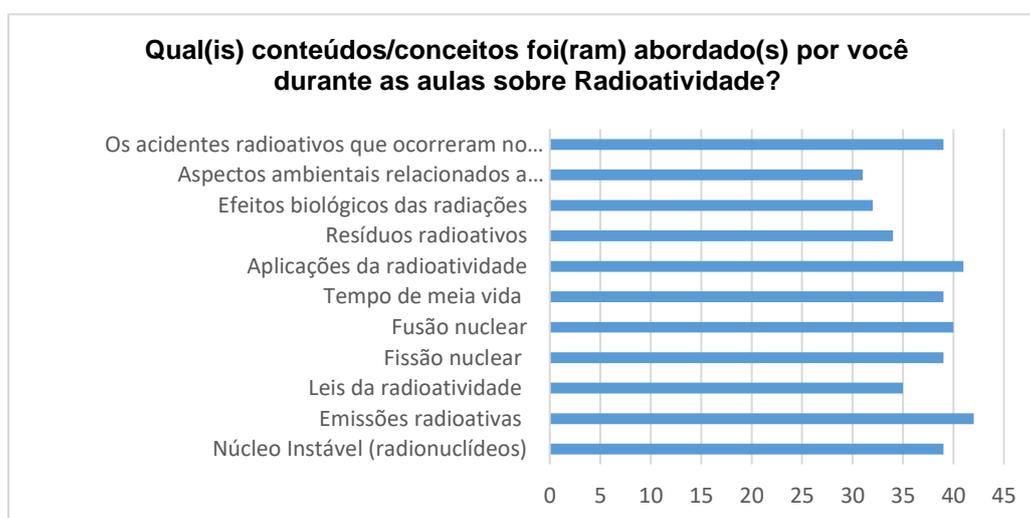
P37 – “Explicar sobre detalhes do funcionamento de uma usina nuclear e consequências sociais e econômicas do acidente do césio”.

A partir do exposto, notamos que, independentemente se estudaram ou não a temática durante a sua graduação, os professores enfrentam dificuldades para ensinar tanto em relação ao conteúdo científico, quanto em relação aos outros aspectos envolvidos na temática. Torna-se necessário, então, que eles busquem uma formação complementar sozinhos, o que não é uma tarefa fácil, pois, como pontuado por eles,

há falta de material didático que contemple o conteúdo e o acidente, de maneira satisfatória e aprofundada.

Isto posto, vamos compreender como esses professores trabalham(ram) o conteúdo Radioatividade com seus alunos da educação básica e as possíveis implicações da formação deficitária que receberam para sua atuação docente. A Figura 41 mostra quais os conteúdos/conceitos foram trabalhados pelos professores com os seus alunos.

Figura 41 – Conteúdos/conceitos abordados pelos professores da educação básica sobre Radioatividade



Fonte: Documentos da pesquisa (questionários).

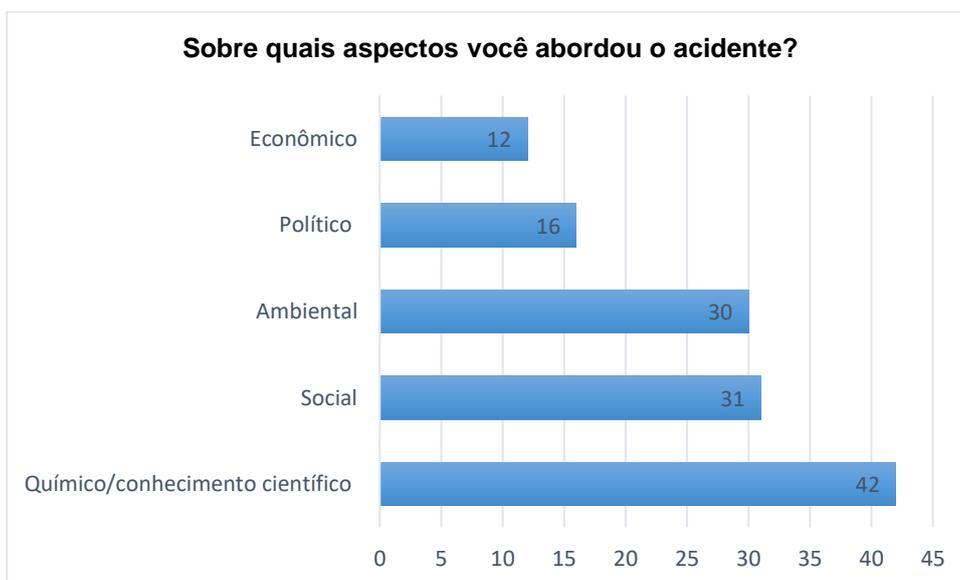
Analisando a Figura 41 percebemos que a maioria dos professores, ao trabalharem a temática, deram ênfase aos principais conceitos científicos presentes no tema, o que é positivo, pois propiciaram aos alunos a aprendizagem dos conceitos básicos presentes na temática. Entretanto, observamos que alguns aspectos importantes, como as questões ambientais, os efeitos biológicos da radiação e os resíduos radioativos, foram menos abordados, mostrando que a “[...] preocupação saliente é a formação nos conteúdos da química, não importando o contexto em que eles poderiam ser significativos [...]” (MALDANER, 2020, p. 48).

Podemos inferir que essa preferência por trabalhar os conceitos científicos é reflexo da formação deficitária que esses professores tiveram, pois, ao não ter estudado as outras questões, o professor não se sente preparado para discuti-las com seus alunos, como evidenciado pela resposta de um professor à questão vinte e um

do questionário o qual escreve que teve dificuldade na “*Explicação de interações biológicas - P4*”, pois, como vimos, este aspecto foi negligenciado pelos professores das IES. Tal destaque se justifica, pois essas interações não são abordadas nos livros de Química que geralmente são utilizados pelos professores como material didático, logo, se ele não teve uma formação que lhe dê embasamento teórico sobre tais interações, ele não se sente preparado para explicá-las na educação básica. Além disso, é muito importante que tais discussões sejam realizadas, pois as interações biológicas da radiação foram responsáveis pelas mortes e sequelas das vítimas do acidente ocorrido em Goiânia.

Falando especificamente sobre o acidente com o Césio 137, dos 44 participantes, 43 responderam que discutiram o acidente durante as suas aulas abordando-o em diferentes aspectos, como mostra a Figura 42 a seguir.

Figura 42 – Aspectos abordados pelos professores em relação ao acidente com o Césio 137



Fonte: Documentos da pesquisa (questionários).

Percebemos que, assim como na abordagem da temática, como um todo, ao falar do acidente, o professor também priorizou o conhecimento científico em detrimento de outros aspectos, principalmente o político e o econômico, que também são importantes e estão imbricados na ocorrência e nas consequências do acidente com o Césio 137. Entendemos que a ênfase dada pelos professores também é reflexo (ou implicação) da (não)formação que tiveram durante a sua graduação em relação à

temática Radioatividade, uma vez que, para aqueles que a estudaram, somente dez, como mostrado na Figura 39, afirmaram ter estudado sobre o acidente, sendo que o conteúdo foi trabalhado de forma tradicional e com foco no conhecimento científico e aqueles que não estudaram, procuraram aprender sozinhos sobre o acidente estudando em livros didáticos, assistindo filmes e documentários. Tais fontes de informação muito provavelmente não trazem os aspectos em discussão, tendo uma abordagem limitada sobre os fatos.

Os trechos a seguir são respostas dos professores à questão vinte do questionário, quando perguntados se o fato de não terem estudado sobre Radioatividade, na graduação, prejudicou a sua atuação docente e ratificam essa aprendizagem solitária dos professores.

P13 – “Sim, tive que estudar mais, e com certeza as primeiras aulas não foram tão boas”.

P39 – “Eu imagino que, se eu tivesse estudado antes sobre o assunto, teria sido facilitado o aperfeiçoamento e não o início tardio sobre a aprendizagem de algo que nunca tinha visto antes. Esse tema deveria constar da matriz curricular de todas as escolas brasileiras e principalmente as goianas em razão da ocorrência do acidente radiológico na capital do estado de Goiás”.

P15 – “Não! Pois fui atrás para aprender sozinho”.

P19 – “Não, porque pesquisei o conteúdo, estudei por conta própria”.

P6 – “Não porque fui atrás do conhecimento sozinho”.

P8 – “Não. Eu pesquisei, aprendi e passei para meus alunos”.

P37 – “Não, porém se o assunto tivesse sido abordado na graduação, talvez eu adquirisse mais elementos que contribuíssem para a aprendizagem do meu aluno”.

Pelos trechos acima, fica evidente que os professores tiveram que aprender sozinhos os conteúdos para, posteriormente, ensiná-los. Embora alguns dos professores tenham afirmado que a sua atuação docente não foi prejudicada pelo fato de não ter estudado a Radioatividade na graduação, já que eles estudaram, pesquisaram e aprenderam sozinhos, sabemos que é muito diferente você aprender determinado assunto sozinho em comparação a ter a oportunidade de discuti-lo sob diferentes aspectos com outras pessoas, como o professor da IES e os colegas de curso. Nas palavras de Freire e Shor (1986, p. 16) “Através do diálogo crítico sobre

um texto ou um momento da sociedade, tentamos penetrá-la, desvendá-la, ver as razões pelas quais ela é como é, o contexto político e histórico em que se insere. Isto é para mim um ato de conhecimento [...]”.

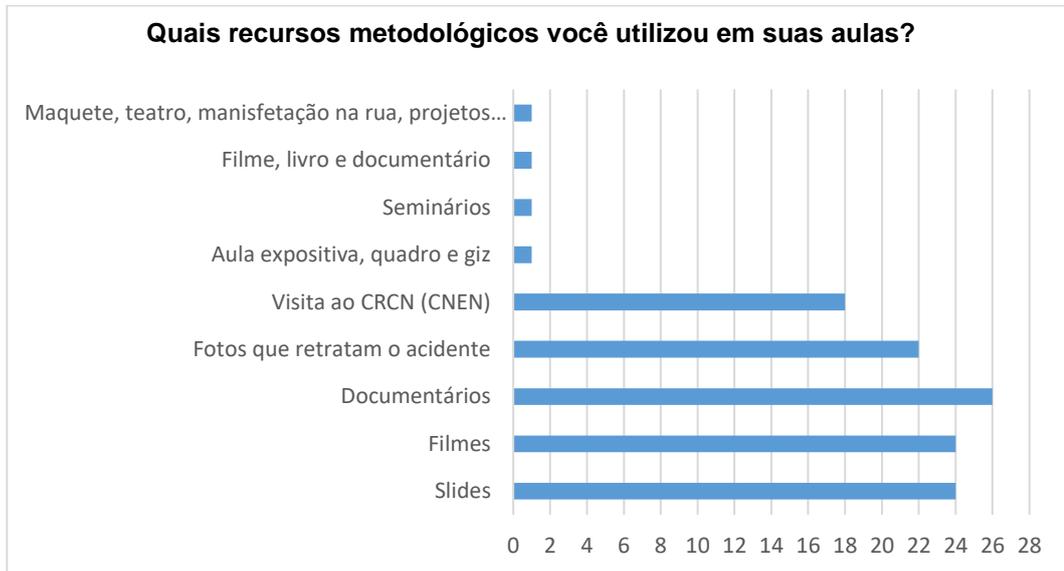
Tais palavras mostram a importância das discussões realizadas durante a formação docente, principalmente neste caso que está relacionado com o acidente com o Césio 137, o qual está envolvido por uma série de questões que vão muito além do conhecimento científico, exigindo do professor uma reflexão crítica sobre os fatos que levaram à ocorrência do acidente, as providências tomadas e as consequências geradas em vários âmbitos, o que vai ao encontro também da resposta do professor P37.

Entendemos que, ao não terem a oportunidade de discutir e problematizar o acidente, durante a sua graduação, os professores também não o fazem na educação básica, ficando, assim, presos às mesmas questões que foram abordadas nos materiais que eles utilizaram. Dessa forma, compreendemos que nem o professor foi alfabetizado cientificamente em relação à temática Radioatividade e nem foi capaz de propiciar essa alfabetização a seus alunos, logo, concordamos com Maldaner (2020) ao afirmar que:

Ao saírem dos cursos de licenciatura, sem terem problematizado o conhecimento científico em que vão atuar e nem o ensino desse conhecimento na escola, recorrem, usualmente, aos programas, apostilas, anotações e livros didáticos que os professores deles proporcionaram quando cursavam o ensino médio. É isto que mantém o círculo vicioso [...] (MALDANER, 2020, p. 74).

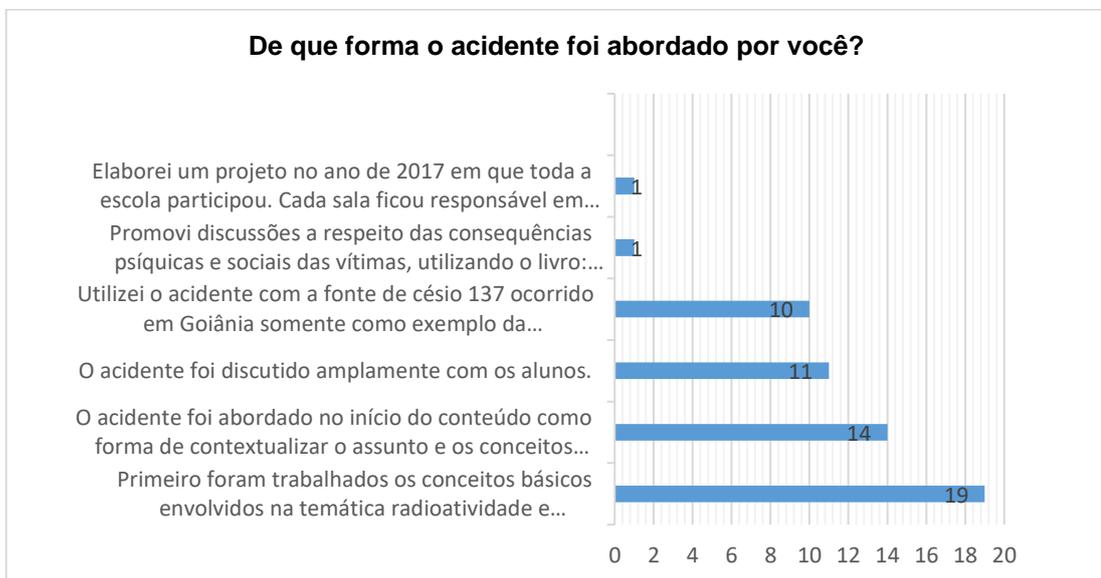
Após conhecermos os conteúdos/conceitos trabalhados e os aspectos abordados, vamos compreender quais recursos metodológicos foram utilizados pelos professores e a forma como o acidente radiológico de Goiânia foi trabalhado na educação básica. As Figuras 43 e 44 a seguir, mostram essas informações.

Figura 43 – Recursos metodológicos utilizados pelos professores da educação básica para abordar o acidente radiológico com o Césio 137



Fonte: Documentos da pesquisa (questionários).

Figura 44 – A forma como o acidente com o Césio 137 foi abordado durante as aulas sobre Radioatividade



Fonte: Documentos da pesquisa (questionários).

Observamos na Figura 43 que os professores afirmam que utilizaram diversos recursos para abordar o acidente, principalmente filmes, documentários, slides, fotos e visita à CNEN. Além disso, como mostra a Figura 44, quatorze professores responderam que abordaram o acidente de forma contextualizada, onze disseram que

ele foi amplamente discutido com os alunos, um afirma que trabalhou o assunto por meio de um projeto e um disse que promoveu discussão sobre questões psíquicas e sociais. A utilização de tais recursos, juntamente com essas abordagens e discussões é positiva, pois tendem a despertar o interesse e a curiosidade dos alunos o que pode tornar as aulas mais atrativas, saindo de um ensino tradicional com aulas expositivas.

Entretanto, é preciso lembrarmos que estes mesmos professores afirmaram, ao responderem à questão dezessete do questionário (Figura 42), que trabalharam principalmente o conhecimento científico, em detrimento de outros aspectos, como discutido anteriormente. Então, mesmo sendo ferramentas com potencial para contribuir com o processo de ensino e aprendizagem, esses recursos e essas abordagens só serão efetivas, se o professor for além dos conceitos básicos, discutir o acidente sob diferentes perspectivas, bem como conduzir as suas aulas de forma problematizadora que contribua para alfabetizar cientificamente os alunos da educação básica, uma vez que, segundo Chassot (2018, p. 77) “A nossa responsabilidade maior no ensinar Ciências é procurar que nossos alunos e alunas se transformem, com o ensino que fazemos, em homens e mulheres mais críticos”, como se espera quando esse ensinar é pautado pelo viés da alfabetização científica.

Um outro reflexo de que essa formação não é propiciada aos alunos é mostrado na Figura 44, quando dez professores afirmaram que abordaram o acidente com o Césio 137 apenas como exemplo do uso inadequado de fontes radioativas. Tal abordagem evidencia que não houve problematização, contextualização e nem discussões amplas sobre o ocorrido. É importante destacarmos aqui que, de acordo com Chassot (2018), o *lócus* para realizar a alfabetização científica é a educação básica e, para que essa alfabetização se concretize, segundo o autor, é essencial que os professores e professoras desse nível de ensino sejam sujeitos ativos na construção de um currículo diferenciado, com escolha criteriosa dos conteúdos e da forma como eles serão trabalhados com os alunos, para que realmente se consigam formar cidadãos e cidadãs críticos e atuantes na sociedade. O que só será possível se estes professores tiverem uma formação com esse viés.

Corroborando com essa discussão, na visão dos professores, os conhecimentos adquiridos durante a graduação em Química não foram suficientes para balizar as suas aulas na educação básica, como mostram os trechos a seguir,

que são respostas de alguns dos professores que estudaram sobre Radioatividade à questão dezoito do questionário.

P2 – “Não! Como disse anteriormente, foram bastante superficiais. O que mais aprendi sobre Radioatividade, aprendi lendo e assistindo a documentários”.

P20 – “Não, porém o estudo contínuo complementou a formação”.

P41 – “Não foram suficientes”.

P42 – “Os conhecimentos adquiridos durante minha graduação serviram como ferramentas importantes para que eu compreendesse melhor sobre o processo da radioatividade. Porém, se colocarmos em porcentagem 70% do que sei hoje, foi devido aos vários anos de docência e idas a CNEN”.

P44 – “Jamais, nem de perto. O conhecimento não serviu para quase nada, foi necessário muito estudo posterior para poder falar com responsabilidade sobre o assunto”.

Tais respostas denotam novamente que os professores, de modo geral, reconhecem que a formação que receberam em relação à temática Radioatividade não foi suficiente nem para eles próprios compreenderem os fatos que levaram à ocorrência e às consequências geradas pelo acidente e nem para balizar a sua atuação docente, pois deixam claro que tiveram que buscar uma formação complementar.

Diante do exposto, é praticamente unânime entre os participantes da pesquisa a necessidade de as IES do estado de Goiás ofertarem disciplinas específicas sobre Radioatividade que contemplem, dentre outras coisas, o acidente radiológico com o Césio 137, como afirmado por 39 dos 44 participantes. O Quadro 14 a seguir traz algumas dessas respostas.

Quadro 14 – As IES do estado de Goiás que oferecem o curso de licenciatura em Química, deveriam ofertar disciplinas específicas sobre a temática Radioatividade, com ênfase no acidente radiológico de 1987?

Professor(a)	Respostas	Estudou Radioatividade na graduação
P1	Sim. Uma vez que nossa população enfrentou a problemática, deveríamos ter a formação dos estudantes de Química com este conteúdo que é relevante na nossa história.	Sim
P2	Sim! Pois não se trata apenas do conteúdo em si, mas também de nossa história.	Sim
P3	Sem dúvida!! Vejo que se trata de um conteúdo negligenciado pelas Instituições Federais de Ensino.	Não

P15	Sim! Pois foi um acidente com repercussão mundial e sendo assim é preciso uma compreensão melhor sobre o que aconteceu!	Não
P17	Sim. Por se tratar de um acidente radiológico ocorrido no estado e que provocou consequências à população de Goiânia e do estado na época, é importante apresentar a parte histórica e a ação dos poderes para minimizar/mascarar os efeitos causados pelo acidente. Além disso, a contextualização do acidente permite reflexões no sentido de desmistificar alguns conhecimentos sobre a radioatividade como algo exclusivamente maléfico, e a partir dos conhecimentos construídos, torna-se possível evitar futuros acidentes radiológicos e similares.	Não
P18	Considero que essa temática deveria fazer parte da ementa, em uma disciplina geral ou específica, pois é um assunto que está previsto no currículo nacional para o ensino médio. E as Instituições de Ensino Superior, como formadora de docentes, deveria disponibilizar esses conteúdos a seus licenciandos. E considerando nossa realidade local/regional o acidente radiológico em Goiânia deveria ser abordado, para que enquanto futuros docentes, possam vir a desmistificar muitas concepções relacionadas ao tema e mostrar como é importante o conhecimento científico para conhecer, compreender e intervir no meio em que vive de forma crítica, não se amparando em senso comum e sabendo analisar o que é veiculado pela mídia.	Não
P19	Sim, porque faz parte da história de Goiás e os alunos gostam de saber sobre o acidente, sobre o que radioatividade, existe um interesse neste assunto.	Não
P23	Sim, pois os conteúdos de radioatividade fazem parte da BNCC na área da química e a ausência destes no programa da Licenciatura em Química faz com que o professor tenha que de certa forma, aprender sozinho para poder ensinar.	Não
P24	Sim deveria. Como a química aborda esse tema no ensino médio seria de muita importância um maior aprofundamento nesse tema na formação do profissional.	Não
P27	Sim. O crime que aconteceu merece ser conhecido por todas as gerações. Uma disciplina com esse tema gerador, é de fundamental importância para nós goianos.	Sim
P28	Sim, pois, é um conhecimento importante para a área da Química além de ser exigido no currículo do Estado de Goiás. Então, como professores temos que buscar nossa própria formação através de pesquisas para assim prepararmos as aulas do tema para nossos alunos.	Sim
P29	Sim, 1º por ser um assunto presente na ementa da disciplina de Química do ensino médio e 2º por permitir contextualizar o assunto é desmistificar que a radioatividade é apenas nociva, "maléfica". Apresentando a importância e as diversas aplicações, possibilitando que a conscientização e esclarecimento sobre o tema evitem que novos acidentes como o de 1987 se repitam por desconhecimento.	Não
P35	Sim, deveria sim, já que a sociedade goiana vivenciou esse episódio, é uma questão até mesmo de resgate histórico e, ainda, daria formação contextualizada sobre essa temática aos futuros professores que irão atuar em sala de aula.	Sim
P38	Sim. É um assunto pouco falado na graduação e muito pertinente à formação, não só pela importância e aplicação dos conceitos, mas também porque conta parte da história da nossa cidade. Acredito ser necessário aprender com o que foi vivenciado à época e que ensinamentos e lições apreendemos de toda situação ocorrida.	Sim
P42	Sim, deveria. Pois, quando estamos na sala de aula do ensino fundamental e médio em solo goiano, os estudantes perguntam constantemente sobre esse tema. Esse tema, faz parte da nossa história e deve tanto ser lembrado quanto ensinado em nossas escolas.	Sim

Fonte: A autora.

Pelas respostas apresentadas, percebemos que, independentemente de o professor haver estudado ou não, durante a sua graduação, a temática Radioatividade, eles defendem e acreditam ser importante a presença de uma disciplina sobre tal temática nos cursos de formação de professores de Química. Apesar das justificativas serem diversas, todas apontam na mesma direção, o não silenciamento do acidente e da história do estado de Goiás, bem como a necessidade de acessar os conhecimentos, ainda na graduação, para ter condições de ministrar

aulas sobre a temática para seus alunos. Ratifica-se tal perspectiva, uma vez que esse conteúdo está presente na matriz curricular da educação básica, o que comprova a necessidade e a importância de os professores compreenderem melhor tanto o conteúdo científico quanto o acidente ocorrido, tendo a oportunidade de refletir sobre eles e “desmitificar” a ideia dos alunos de que Radioatividade é algo perigoso e maléfico para o ser humano.

Assim, a partir das análises feitas nessa pesquisa, as evidências mostram que, de modo geral, os professores formados em Química nas IES do estado de Goiás não têm oportunidades de aprender e discutir, durante a sua graduação, o conteúdo Radioatividade e o acidente radiológico com o Césio 137 e, quando existe a abordagem sobre o tema, não necessariamente contempla os pilares da alfabetização científica. Logo, argumentamos que há lacunas formativas e que elas reverberam na atuação docente, pois entendemos que os professores formados a partir dessas propostas pedagógicas não estão preparados para desenvolver um ensino de Ciências contextualizado, reflexivo, crítico e capaz de alfabetizar cientificamente os alunos da educação básica em relação à temática Radioatividade.

Diante do exposto, compreendemos e ratificamos que mudanças são necessárias e podem começar em âmbito local, pela reconstrução dos PPC das IES do estado de Goiás, incorporando aos documentos a temática Radioatividade e o acidente com a fonte do Césio 137, seja por meio de disciplinas específicas, ou pela inserção de projetos de ensino e pesquisa que contemplem o tema.

Já em âmbito nacional, uma mudança em prol da melhoria da qualidade da formação dos professores, sendo audaciosa, começaria pela atualização das Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química, bacharelado e licenciatura, que datam de 2001, ou seja, de duas décadas. Mudanças essas que passariam a contemplar, entre outras coisas, as modificações ocorridas na sociedade e provocadas, dentre outros fatores, pelos avanços tecnológicos e científicos, ao longo dos anos, e que são apropriados cada vez mais rapidamente pela população, principalmente pelos jovens.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Historicamente a formação de professores de Química, no Brasil, enfrenta diversos desafios, dentre os quais podemos citar problemas formativos relacionados ao currículo, como lacunas relacionadas à inserção de conteúdos importantes para a futura ação docente. Apesar de o primeiro curso de licenciatura do país ter sido criado na década de 1930, somente em 1962 foi estabelecida uma separação específica entre os currículos de Química Industrial e Licenciatura em Química, e isso ocorreu somente em uma instituição de ensino, a USP. Até a década de 1990, sequer era obrigatório possuir licenciatura para atuar como professor na educação básica. Esse cenário só veio a mudar com a promulgação da Lei n. 9.394 em 1996.

Até então, não havia diretrizes específicas para a formação de professores de Química, na esfera federal, as quais só foram estabelecidas em 2001, diretrizes estas que são vigentes até os dias de hoje. Nos anos seguintes, várias resoluções específicas para a formação de professores foram publicadas em 2002, 2015 e 2019. Entendemos que esses documentos trouxeram avanços, em termos da construção da identidade própria dos cursos de licenciatura em Química, mas, como eles nasceram e se consolidaram atrelados aos cursos de bacharelado, são ainda hoje, marcados pela racionalidade técnica e pela ênfase na pesquisa, com predominância das pesquisas no campo da Química.

Tais características veem sendo criticadas por pesquisadores da área de ensino de Química, ao longo dos anos, uma vez que refletem na qualidade formativa desses cursos, a qual vem sendo questionada, e está aquém da ideal. Os problemas relacionados à formação docente são diversos, passando pela dicotomia entre a teoria e a prática e indo até os conteúdos programáticos previstos nas ementas das disciplinas constantes dos PPC. Assim, é urgente a necessidade de mudar o ensino que está posto nas IES, em relação à formação de professores de Química, em busca de um ensino que seja capaz de formar professores críticos e reflexivos, com condições de refletir essa formação em sua atuação na educação básica.

Um dos caminhos para se conseguir essa formação é conduzir o processo formativo por meio da alfabetização científica, propiciando aos egressos condições reais de atuarem de forma transformadora tanto na sociedade, quanto na sua atuação

docente, sendo capazes de também formar cidadãos críticos e reflexivos na educação básica, pelo viés da alfabetização científica. Para alcançar essa formação, dentre outras coisas, é preciso considerar as especificidades locais, regionais e o contexto histórico no qual o aluno está inserido. Dessa forma, ao escolher os conteúdos a serem trabalhados com os alunos, seja na educação básica, ou no nível superior, o professor precisa levar em consideração tais especificidades. Um exemplo, no ensino de ciências, especificamente no ensino de Química, no estado de Goiás, é o acidente radiológico ocorrido em Goiânia em 1987, com uma fonte de Césio 137, sendo considerado o maior acidente radiológico do mundo. Tal fato está relacionado à Radioatividade, que é um dos conteúdos presentes na matriz curricular do Ensino Médio.

Desse modo, este trabalho buscou compreender as relações entre a temática Radioatividade e a alfabetização científica na formação de professores de Química no estado de Goiás. Para isso, foi feita uma (re)leitura do acidente radiológico ocorrido em Goiânia, a partir do olhar freireano, buscando entender as relações sociais que emergiram no contexto das ações imbricadas na história do acidente. Entendemos que ele poderia ter sido evitado por meio de ações simples, como a remoção do aparelho de radioterapia do prédio, no ato da mudança. Mas a ganância do ser humano e a falta de empatia com o outro falou mais alto e o fato de o aparelho de radioterapia ter sido abandonado num prédio em ruínas, que assim estava devido a um conflito judicial entre três instituições, foi determinante para a ocorrência do acidente.

Esse triste acontecimento mostrou claramente alguns problemas, como o despreparo do Brasil para lidar com o ocorrido, pois não havia profissionais qualificados, em quantidade suficiente, para atuarem neste tipo de acidente, bem como problemas sociais e educacionais, como a divisão de classes presente na sociedade, deixando as classes mais pobres à mercê da própria sorte e a falta de conhecimento científico da população de modo geral, e não só dos goianos. Essa falta de conhecimento perpassa o ensino de Química e a alfabetização científica.

Também analisamos os PPC dos cursos de licenciatura em Química ofertados pelas IES do estado de Goiás e os questionários respondidos por professores de Química da educação básica, a fim de identificar se os cursos contemplam a temática

Radioatividade e o acidente com a fonte do Césio 137 ocorrido em Goiânia, e buscamos compreender, em termos de ação docente, os reflexos obliteradores da (não) abordagem do tema Radioatividade na formação inicial, para uma prática pedagógica que considere a alfabetização científica como elemento (trans)formador.

Por meio da desmontagem dos PPC, foram criadas duas categorias de análise: i) A formação de professores de Química no estado de Goiás e a alfabetização científica e ii) A abordagem da Radioatividade na formação dos professores de Química. Ao analisar a primeira categoria, percebemos que nos PPC há evidências de que as IES do estado de Goiás estão conduzindo a formação dos licenciandos em Química pelo viés da alfabetização científica, pois todos os documentos trazem, de alguma forma, elementos que indicam uma proposta pedagógica que busca formar cidadãos.

Entretanto, ao analisarmos a segunda categoria, percebemos que não foi dada a devida importância ao acidente ocorrido em Goiânia, pois a quantidade de disciplinas que abordam de alguma forma o conteúdo Radioatividade é pequena e menor ainda é o número de disciplinas específicas sobre tal conteúdo, somente três, num universo de 16 IES. Além disso, a maioria das disciplinas que abordam o tema se configuram como disciplinas optativas, portanto, não alcançarão todos os alunos. Outra questão identificada no processo analítico foi a baixa carga horária das disciplinas ofertadas, o que dificulta uma ampla discussão dos conteúdos, ainda mais se esses conteúdos forem trabalhados numa perspectiva crítica e reflexiva com o propósito de alfabetizar cientificamente os alunos, como seria adequado.

Outros problemas encontrados foram a falta da abordagem do acidente radiológico ocorrido em Goiânia, pois somente a ementa de uma disciplina deixa claro que abordará os acidentes nucleares. Outro aspecto identificado foi a pouca quantidade de referências específicas sobre a temática, fato que distancia, ainda mais, a proposta de concretização do currículo da abordagem sobre a Radioatividade.

A partir da análise dos questionários, emergiu uma nova categoria: As influências da formação inicial em relação à temática Radioatividade na atuação docente dos professores de Química da educação básica, em que buscamos compreender, a partir das vozes dos próprios professores formados em Goiás, a relação entre sua formação e sua atuação docente, no que diz respeito à abordagem

do tema Radioatividade. De modo geral, os professores afirmaram que, quando a abordagem do tema ocorre na formação inicial, os conteúdos são abordados de forma conteudista e o foco é nos conceitos científicos em detrimento de outros aspectos, inclusive do acidente radiológico com o Césio 137, o qual foi negligenciado pela maioria das IES. Entendemos que essa formação deficitária reverberou na sua atuação docente, trazendo-lhes dificuldades, ao terem de ensinar Radioatividade na educação básica.

Ficou evidente também que, independentemente se o professor estudou ou não sobre Radioatividade, ele precisou complementar a sua formação por conta própria, e fez isso estudando em livros didáticos, assistindo filmes e documentários, para que fosse capaz de ensinar seus alunos. Além disso, os professores reconhecem que, se tivessem tido uma formação adequada sobre tal temática, teriam melhores condições de discutir o assunto durante as suas aulas na educação básica. Desse modo, praticamente todos os professores participantes da pesquisa concordam que é necessário que as IES ofertem disciplinas sobre Radioatividade que abordem, além dos conhecimentos científicos, o acidente com o Césio 137, de forma aprofundada e em seus diferentes aspectos.

Dessa forma, o que inferimos a partir de todos os documentos analisados, foi que, apesar de haver indícios que orientam o leitor inicialmente a vislumbrar que os licenciandos estão sendo alfabetizados cientificamente numa formação para a cidadania, o conjunto da obra mostra que essa formação muito provavelmente não será alcançada em relação à temática Radioatividade. Assim, as evidências mostram que, de modo geral, os professores formados em Química nas IES do estado de Goiás não têm oportunidades de aprender e discutir, durante a sua graduação, o conteúdo Radioatividade e, principalmente, o acidente radiológico com o Césio 137. E quando existe a abordagem sobre o tema, não necessariamente contempla os pilares da alfabetização científica.

Logo, inferimos, a partir das análises feitas nesta tese, que os professores formados no contexto dessas propostas pedagógicas não estão preparados para alfabetizar cientificamente os alunos da educação básica em relação à temática Radioatividade e entendemos que, atualmente, as IES do estado de Goiás apresentam uma lacuna formativa em relação à alfabetização científica dos futuros

professores de Química e, conseqüentemente, dos estudantes da educação básica que serão formados por esses professores.

Isso posto, entendemos que as críticas feitas por nós em relação à alfabetização científica e à formação de professores, considerando a temática Radioatividade, configura uma denúncia, segundo Freire, uma vez que entendemos que estão relacionadas com uma educação, que, além de não formar cidadãos, ainda contribui para a manutenção de uma proposta educacional desumanizante que desconsidera o contexto histórico em que os sujeitos estão inseridos. No entanto, Freire deixa claro que não basta fazer a denúncia, é preciso fazer também o anúncio e, neste caso, o anúncio se apresenta na defesa de que sejam repensadas as propostas pedagógicas dos cursos em prol de uma educação problematizadora, que seja capaz de propiciar aos alunos uma formação crítica, reflexiva e emancipatória sem deixá-los esquecer, a partir da história vivida pelo povo goiano e pelo viés do ensino de Química, que o conhecimento e a alfabetização científica podem evitar que situações como a que ocorreu se repitam.

Há vários caminhos possíveis de serem seguidos em busca dessa educação problematizadora, um deles é a reestruturação do currículo. Entendemos ser necessário que as IES do estado de Goiás incluam disciplinas específicas sobre Radioatividade, que sejam obrigatórias para todos os alunos e com carga horária compatível com a importância do tema. Essas disciplinas precisam contemplar os conteúdos básicos relacionados à temática, como o histórico da descoberta da Radioatividade, as emissões radioativas alfa, beta e gama, decaimento e tempo de meia-vida dos radionuclídeos, reações nucleares, aplicações das radiações, acidentes nucleares, ênfase no próprio acidente radiológico com o Césio 137, bem como outras questões relacionadas a ele. Isso possibilitaria aos alunos a oportunidade de debaterem e discutirem sobre tal fato, considerando diferentes aspectos do acidente ocorrido. Para isso, o professor formador poderia utilizar documentários, filmes como CÉSIO 137 - O Pesadelo de Goiânia, livros, revistas e artigos que retratam o acidente sobre diferentes aspectos, como psicológico, social, ambiental, jurídico, entre outros, possibilitando, assim, discussões mais aprofundadas sobre a temática e sobre o acidente, de modo a contribuir com a formação de sujeitos críticos e reflexivos pelo viés da alfabetização científica.

Isso posto, esperamos contribuir, a partir do desenvolvimento desta tese, com uma discussão que tem atravessado rodas de conversas informais de licenciandos, licenciados e professores formadores do curso de Química do estado de Goiás, mas que buscamos trazer à luz, a partir da perspectiva de uma investigação científica cujos resultados, ao serem socializados, serão basilares para mudanças nas propostas pedagógicas dos cursos que formam professores de Química em nossa região.

REFERÊNCIAS

ALARÇÃO, Isabel. **Professores Reflexivos em uma Escola Reflexiva**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2003, 103 p.

ALMEIDA, Cristiane de; BOFF, Eva Teresinha de Oliveira; LOPES, Anemari Roesler Luersen Vieira. Formação de Professores: Desafio da Pesquisa como Prática Pedagógica. **Roteiro**, Joaçaba, v. 45, p. 1-20, jan./dez. 2020.

ALVES, Dylan Ávila; MESQUITA, Nyuara Araújo da Silva. O Contexto Formativo das Licenciaturas em Química do IF Goiano e suas Implicações na Perspectiva Profissional dos Licenciandos. **Revista Virtual de Química**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 6, p. 1423-1440, 2020.

ALVES, Rex Nazaré. **Relatório do Acidente Radiológico em Goiânia**. 1988. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/outros/18866.pdf>. Acesso em: 01 set. 2020.

AMARAL, Luana Zanelato; ROSA, Cleci Teresinha Werner da; LOCATELLI, Aline. Educação em Ciência/Química e Alfabetização Científica na perspectiva da formação cidadã: características e tendências das pesquisas nacionais. **Revista REAMEC**, Cuiabá, v. 7, n. 3, p. 297-324, set./dez. 2019.

AQUINO, Kátia Aparecida da Silva; AQUINO, Fabiana da Silva. **Radioatividade e Meio Ambiente**: os átomos instáveis da natureza. v. 8, São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 2012, 144 p.

ARRUDA, Walter Oleschko. Wilhelm Conrad Röntgen - 100 anos da descoberta dos Raios X. **Arquivos de Neuropsiquiatria**, São Paulo, v. 54, n. 3, p. 525-531, 1996.

ATKINS, Peter; JONES, Loretta. **Princípios de Química**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012, 1.026 p.

AULER, Décio; DELIZOICOV, Demétrio. Alfabetização científico-tecnológica para que? **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 3, n. 2, p. 122-134, jul./dez. 2001.

AZEVEDO, Ana Cecília Pedrosa de. **Radioproteção em Serviços de Saúde**. FIOCRUZ, Escola Nacional de Saúde Pública-CESTEH e Programa de Radioproteção e Dosimetria, Coordenação de Fiscalização Sanitária, Secretaria de Estado de Saúde do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Apostila. Disponível em: <http://www.fiocruz.br/biossegurancahospitalar/dados/material10.pdf>. Acesso em: 20 maio 2020.

BARBOSA, Aurélio de Melo; VERONEZI, Rafaela Júlia Batista; ABADIA, Angélica Araújo Martins dos Santos; PENQUES, Ivani. Radioacidente Césio 137 – 30 anos: **Boletim Epidemiológico resumido 2017**. Centro de Excelência em Ensino, Pesquisa e Projetos Leide das Neves Ferreira (CEEPP-LNF). Disponível em: <http://www.cesio137goiania.go.gov.br/wp-content/uploads/2017/08/Boletim-Epidemiol%C3%B3gico-Resumido-2017.pdf>. Acesso em: 28 set. 2020.

BARDIN, Laurence. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 1977, 229 p.

BRASIL. **Lei n. 6.453, de 17 de outubro de 1977**. Dispõe sobre a responsabilidade civil por danos nucleares e a responsabilidade criminal por atos relacionados com atividades nucleares e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1977. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6453.htm#:~:text=L6453&text=LEI%20N%C2%BA%206.453%2C%20DE%2017,nucleares%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%Aancias. Acesso em: 28 set. 2020.

BRASIL. **Lei n. 9394/96, de 20 de dezembro de 1996**. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Brasília, DF: Presidência da República, 1996. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm. Acesso em: 05 jun. 2020.

BRASIL. Parecer CNE/CES n. 1.303, de 07 de dezembro de 2001. Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química. Brasília, DF: Presidência da República, 2001. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES1303.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2020.

BRASIL. Parecer CNE/CP n. 09, de 08 de maio de 2001. Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica, em nível superior, curso de licenciatura, de graduação plena. Brasília, DF: Presidência da República, 2001. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/009.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2020.

BRASIL. **Lei n. 10.308, de 20 de novembro de 2001**. Dispõe sobre a seleção de locais, a construção, o licenciamento, a operação, a fiscalização, os custos, a indenização, a responsabilidade civil e as garantias referentes aos depósitos de rejeitos radioativos, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2001. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10308.htm. Acesso em: 10 ago. 2020.

BRASIL. Resolução CNE/CP n. 1, de 18 de fevereiro de 2002. Institui Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica, em nível superior, curso de licenciatura, de graduação plena. Brasília, DF: Presidência

da República, 2001. Disponível em:

http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/res1_2.pdf. Acesso em: 15 jun. 2020.

BRASIL. Resolução CNE/CES n. 8, de 11 de março de 2002. Estabelece as Diretrizes Curriculares para os cursos de Bacharelado e Licenciatura em Química. Brasília, DF: Presidência da República, 2002. Disponível em:

<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES08-2002.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2020.

BRASIL. **Lei n.13.005, de 25 de junho de 2014**. Aprova o Plano Nacional de Educação – PNE e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2014. Disponível em:

<http://portal.inep.gov.br/documents/186968/485745/Plano+Nacional+de+Educa%C3%A7%C3%A3o+PNE+2014-2024++Linha+de+Base/c2dd0faa-7227-40ee-a520-12c6fc77700f?version=1.1>. Acesso em: 16 nov. 2020.

BRASIL. Resolução n. 2, de 1 de julho de 2015. Define as Diretrizes Curriculares Nacionais para a formação inicial em nível superior (cursos de licenciatura, cursos de formação pedagógica para graduados e cursos de segunda licenciatura) e para a formação continuada. Brasília, DF: Presidência da República, 2015. Disponível em:

<http://portal.mec.gov.br/escola-de-gestores-da-educacao-basica/323-secretarias-112877938/orgaos-vinculados-82187207/21028-resolucoes-do-conselho-pleno-2015>. Acesso em: 08 jun. 2020.

BRASIL. Resolução CNE/CP n. 2, de 20 de dezembro de 2019. Define as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Inicial de Professores para a Educação Básica e institui a Base Nacional Comum para a Formação Inicial de Professores da Educação Básica (BNC-Formação). Brasília, DF: Presidência da República, 2019. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/docman/dezembro-2019-pdf/135951-rcp002-19/file>. Acesso em: 10 jun. 2020.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Alfabetização. PNA: Política Nacional de Alfabetização. Brasília: MEC, SEALF, 2019. Disponível em:

http://alfabetizacao.mec.gov.br/images/pdf/caderdo_final_pna.pdf. Acesso em: 13 set. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Instituto Nacional de Câncer. Curso para técnicos em radioterapia. Rio de Janeiro: INCA, 2000.

BERNADES, Bruno José. **Síntese do pigmento Azul da Prússia e sua utilização para a produção de tinta do tipo guache**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) - Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, Assis, 2012.

BORGES, Weber. **Eu também Sou Vítima** – A verdadeira história sobre o acidente com o célio 137 em Goiânia. Goiânia: Kelps, 2003, 386 p.

BROWN, Theodore. Lawrence; LEMAY JR, H. Eugene; BURTEN, Bruce Edward; MURPHY, Catherine J.; WOODWARD, Patrick. M.; STOLTZFUS, Matthew W. **Química a ciência central**. 13. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016, 1188 p.

BUONOCORE, Tathianna Cristina Cavalheiro; OLIVEIRA, Ana Isabel Brito de; FARIAS, Daiane Santos; MARTINEZ, Fernando Augusto; SILVA, Gabriela Evangelista da; LEZO, Tais Cristina; ROCHA-LIMA, Ana Beatriz Carollo. Energia das radiações: radioatividade natural e artificial, radiações ionizantes e excitantes. **UNISANTA Bioscience**, São Paulo, v. 8, n. 4, p. 447-457, 2019.

CARDOSO, Eliezer de Moura. Programa de Integração CNEN: Módulo Informação Técnica. Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), Rio de Janeiro, 2005, 50 p. Apostila. Disponível em: <http://antigo.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/programa-de-informacao-cnen.pdf>. Acesso em: 10 set. 2021.

CARDOSO, Eliezer de Moura. Aplicações da Energia Nuclear. Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), Rio de Janeiro, sd, 18 p. Apostila Educativa. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/component/content/article/75-cin/material-didatico-cnen/149-aplicacoes-da-energia-nuclear>. Acesso em: 18 set. 2020.

CARDOSO, Eliezer de Moura. A Energia Nuclear e suas Aplicações. Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), Rio de Janeiro, 3. ed. 2012, 52 p. Disponível em: https://www.gov.br/cnen/pt-br/aceso-rapido/centro-de-informacoes-nucleares/material-didatico-1/apostila_educativa_aplicacoes_energia-nuclear-e-suas-aplicacoes.pdf. Acesso em: 31 mar. 2021.

CARDOSO, Simone Coutinho; BARROSO, Marta Feijó. **Rápida introdução à Físicas das Radiações**. Centro de Educação Superior de Ensino a Distância do Estado do Rio de Janeiro (CEDERJ), 2005. Apostila. Disponível em: <https://www.if.ufrj.br/~marta/cederj/radiacoes/fr-unidade3.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2021.

CARVALHO, Regina Pinto de. **Aplicações da energia nuclear: indústria, meio ambiente, produção de alimentos, bens culturais**. Viena: Internacional Atomic Energy Agency – IAEA, sd., 62 p. *E-book*. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/v1/arquivos_diversos/Livros-e-Estudos/Aplicacoes-da-energia-nuclear_virtual.pdf. Acesso em: 23 set. 2020.

CARVALHO, Regina Pinto de; OLIVEIRA, Sílvia Maria Velasques de. **Aplicações da Energia Nuclear na Saúde**. São Paulo: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC)/Agência Internacional de Energia Nuclear (IAEA), 2017, 68 p. *E-*

book. Disponível em: <http://portal.sbpcnet.org.br/livro/energianuclearnaude.pdf>. Acesso em: 22 set. 2020.

CÉSIO 137 – O pesadelo de Goiânia. Produção de Roberto Pires, Rio de Janeiro: Riofilme, 1991. Filme (115 min).

CHASSOT, Attico. **Alfabetização Científica**: questões e desafios para a educação. Ijuí: Unijuí, 8. ed. 2018, 360 p.

CHAVES, Elza Guedes. **Atos e omissões**: acidente com o Césio 137 em Goiânia. 1998. Tese (Doutorado em Ciências Sociais) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/279912>. Acesso em: 7 nov. 2020.

CNEN. Comissão Nacional de Energia Nuclear. A História da Energia Nuclear. Apostila Educativa, 2015. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/ultimas-noticias/75-cin/material-didatico-cnen/150-historia-da-energia-nuclear>. Acesso em: 25 maio 2020.

CNEN. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Instalações Radioativas: Áreas e Práticas. 2020. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/drs/cgmi/Instalacoes-Radiativas-v4.pdf>. Acesso em: 28 set. 2020.

CNEN. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Normas técnicas. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/normas-tecnicas>. Acesso em: 26 ago. 2020.

CNEN. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Glossário do Setor Nuclear e Radiológico Brasileiro. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/glossario.pdf>. Acesso em: 11 set. 2021.

CNEN. Comissão de Energia Nuclear. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/>. Acesso em: 20 maio 2020.

COELHO, Juliana Cardoso; MARQUES, Carlos Alberto. Contribuições freireanas para a contextualização no ensino de Química. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 9, n. 1, p. 59-75, jan./jun. 2007.

COLLINS, Kenneth Elmer; JARDIM, Isabel Cristina Sales Fontes; COLLINS, Carol Hollingworth. O que é Césio-137? **Química Nova**, São Paulo, v. 11, n. 2, 1988.

CORDEIRO, Marinês Domingues; PEDUZZI, Luiz Orlando de Quadro. Aspectos da natureza da ciência e do trabalho científico no período inicial de desenvolvimento da radioatividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 33, n. 3, p. 3601/1-3601/11, 2011.

CORRÊA, Roberta Guimarães; MARQUES, Rosebelly Nunes. Formação Inicial de Professores de Química no estado de São Paulo: perfil profissional e campo de atuação. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 11, 2017, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis, SC, 3-6 jul. 2017. Disponível em: <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/xi-enpec/anais/resumos/R1202-1.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2020.

CORRÊA, Roberta Guimarães; MARQUES, Rosebelly Nunes. A formação inicial de professores de química sob o olhar dos coordenadores dos cursos. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação**, São Paulo, v. 11, n. esp. 1, p. 406-417, 2016.

COSTA, Kátia Maria Guimarães; KALHIL, Josefina Diosdada Barrera; TEXEIRA, Ana Frazão. Perspectiva histórica da formação de professores de Química no Brasil. **Latin American Journal of Science Education**, Cidade do México, v. 2, n. 1, p. 12061/1-12061/15, 2015.

CUNHA, Rodrigo Bastos. *Scientific literacy*: alfabetização ou letramento? Implicações políticas da tradução de um conceito. **ComCiência**, Campinas, n. 140, jul. 2012.

CUNHA, Rodrigo Bastos. **Porque falar em letramento científico? Raízes do conceito nos estudos da linguagem**. Campinas, Estante Labjor/Nudecri/Unicamp, 2019, 115 p. *E-book*. Disponível em: <http://estante.labjor.unicamp.br/estante-labjor-publica-livro-sobre-letramento-cientifico/>. Acesso em: 18 abr. 2020.

DUTRA, Gildete Elias; OLIVEIRA, Eniz Conceição; DEL PINO, José Cláudio. Alfabetização Científica e Tecnológica na formação do Cidadão. **Revista Signos**, Lajeado, v. 38, n. 2, p. 56-62, 2017.

ECHEVERRÍA, Agustina Rosa; BENITE, Anna Maria Canavarro; SOARES, Márlon Hebert Flora Barbosa. A Pesquisa na formação inicial de professores de química - A Experiência do Instituto de Química da Universidade Federal de Goiás. *In*: ZANON, L. B. (org.). **A formação química e pedagógica nos cursos de graduação em química do país**. Ijuí: Unijuí, v. 1, 2007. p. 01-19.

FAGUNDES, Andrea Vassallo; CAMPOS, Luciana Maria Lunardi. Formação continuada de professores na perspectiva crítica: contribuições à prática docente.

Instrumento: Revista de Estudo e Pesquisa em Educação, Juiz de Fora, v. 13, n. 2, p. 63-72, jul./dez. 2011.

FERNANDEZ, Carmen. Formação de professores de Química no Brasil e no mundo. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 32, n. 94, p. 205-224, 2018.

FERREIRA, Alexandra dos Santos; TAVARES, Desirée Yael de Sena; ORNELA, Luciana Linhares; RODRIGUES, Michele da Silva; PELEGRINELLI, Samuel Queiroz; SILVA FILHO, Wilson Seraine da. Normas nacionais para beneficiamento em irradiação de alimentos. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 43201-43213, jul. 2020.

FIGUEIRA, Rubens César Lopes; CUNHA, Ieda Irma Lamas. A contaminação dos oceanos por radionuclídeos antropogênicos. **Química Nova**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 73-77, 1998.

FLICK, Uwe. **Introdução à Pesquisa Qualitativa**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009, 405 p.

FRANCISCO JUNIOR, Wilmo Ernesto; FERREIRA, Luiz Henrique; HARTWIG, Dácio Rodney. Experimentação Problematizadora: Fundamentos Teóricos e Práticos para a Aplicação em Salas de Aula de Ciência. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 30, p. 34-41, 2008.

FREIRE, Paulo. **Educação Como Prática de Liberdade**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1967, 148 p.

FREIRE, Paulo. **Conscientização – Teoria e Prática da Libertação**, Uma Introdução ao Pensamento de Paulo Freire, tradução Kátia de Mello e Silva, 3. ed. São Paulo: Moraes, 1980, 102 p.

FREIRE, Paulo. **À sombra desta mangueira**. São Paulo: Olho d'Água, 1995, 120 p.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Esperança**: um reencontro com a pedagogia oprimida. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1997, 127 p.

FREIRE, Paulo. **A importância do ato de ler**: em três artigos que se completam. 45. ed. São Paulo: Cortez, 2003, 87 p.

FREIRE, Paulo. **Educação e Mudança**. 29. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2006a, 79 p.

FREIRE, Paulo. **A educação na cidade**. 7. ed. São Paulo: Cortez, 2006b, 144 p.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do Oprimido**. 50. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2011a, 253 p.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Autonomia**: saberes necessários à prática educativa. São Paulo: Paz e Terra, 2011b, 143 p.

FREIRE, Paulo; SHOR, Ira. **Medo e Ousadia** – O Cotidiano do Professor. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1986, 116 p.

FREITAS, Otavio Bitencourt; CLAUS, Thiago Victorino; DINIZ, Rafaela Maria; GONÇALVES, Geórgia; ZACCHI, Rochelle; BOLZAN, Vagner; FLÔR, Rita de Cássia; ZOTTIS, Alexandre D'Agostini. Análise de modelos atuais para os efeitos biológicos e suas consequências – Uma revisão integrativa. **Brazilian Journal Health Review**, Curitiba, v. 2, n. 5, p. 4209-4220 sep./out. 2019.

GABEIRA, Fernando. **Goiânia, Rua 57 O Nuclear Na Terra Do Sol**. Rio de Janeiro: Guanabara, 38 p. *E-book*. Disponível em: http://www.falagabeira.com.br/imgup/%7BC85BE3D4-F5A4-45BD-A518-301B107DB530%7D_e-book%20goiania%20rua%2057.pdf. Acesso em: 11 maio 2020.

GARCIA, Irene Teresinha Santos; KRUGER, Verno. Implantação das Diretrizes Curriculares Nacionais para formação de professores de Química em uma instituição federal de ensino superior: desafios e perspectivas. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 8, p. 2218-2224, 2009.

GODOY, Arilda Schmidt. Introdução a pesquisa qualitativa e suas possibilidades: Uma revisão histórica dos principais autores e obras que refletem esta metodologia de pesquisa em Ciências Sociais. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 57-63, mar./abr. 1995.

GOIÁS. Governo de Goiás. Secretaria de Estado da Saúde de Goiás. **Revista Césio 137 - 25 anos**: uma história para lembrar e prevenir, 2012. Disponível em: http://www.sgc.goias.gov.br/upload/links/arq_590_RevistaCesio25anos.pdf. Acesso em: 06 ago. 2020.

GOMES, Paulo César; JUNIOR, Jair Lopes; DELAROLE, Regiane. “Titia vem cá ver a pedra alumiante que o papai trouxe” – História da Ciência, Radioatividade e o Césio-137 em Goiânia: Proposta para uma unidade didática. **Ensino, Saúde e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 26-56, abr. 2015.

GRASSI, Giovanni; QUEIROZ, Glória Regina Pessôa Campello; FERRARI, Paulo Celso. Um Centro de Ciências no Centro-Oeste? Memórias do acidente com o Césio-137 em Goiânia. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 15, n. 2, p. 407-426, 2015.

GRESCZYSCAYN, Marcella Cristyanne Comar; CAMARGO FILHO, Paulo Sérgio; MONTEIRO, Eduardo Lemes. Determinação do nível de alfabetização científica de estudantes da etapa final do ensino médio e etapa inicial do ensino superior. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Curitiba, v. 11, n. 1, p. 192-208, jan./abr. 2018.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física: Óptica e Física Moderna**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014, 406 p. v. 4.

HEIDELMANN, Stephany Petronilho; PINHO, Gabriela Salomão Alves; LIMA, Maria Celiana Pinheiro. O professor formador em foco: identidade e concepções do fazer docente. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 39, n. 4, p. 356-367, nov. 2017.

HELOU, Suzana; NETO, Sebastião Benício da Costa. Césio-137: história do acidente e atuação da psicologia. In: HELOU, S.; NETO, S. B. C. (org.). **Césio 137: Consequências psicossociais do acidente de Goiânia**. 2. ed. Goiânia: Editora UFG, 2014. p. 13-30.

HURD, Paul DeHart. Science Literacy: Its Meaning for American Schools. **Educational Leadership**. p.13-19, oct. 1958.

HURD, Paul DeHart. Scientific Literacy: New Minds for a Changing World. **Science Education**, v. 82, n. 3, p. 407-416, dez. 1998.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios contínua 2020. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101736_informativo.pdf. Acesso em: 14 set. 2020.

IPEN. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Gerência de Rejeitos Radioativos (GRR), 2010. Disponível em: https://www.ipen.br/portal_por/conteudo/Arquivos/1883_41_Criterios-setembro-2010.pdf. Acesso em: 18 maio 2020.

IPEN. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. sd. Disponível em: https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=35&campo=1638 Acesso em: 12 ago. 2021.

KLEIN, Ana Maria; PÁTARO, Cristina Satiê de Oliveira. A escola frente as novas demandas sociais: educação comunitária e formação para a cidadania. **Cordis: Revista Eletrônica de História Social da Cidade**, São Paulo, n. 1, p. 1-17, 2008.

KOTZ, John. C.; TREICHEL, Paul M.; TOWNSEND, John. R.; TREICHEL, David. A. **Química Geral**, 9. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015, 1207 p. v. 2.

KOTZ, John. C.; TREICHEL, Paul M.; TOWNSEND, John R.; TREICHEL, David A. **Química Geral**, 9. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2016, 615 p. v. 1.

LAUGKSCH, Christian Rudiger. *Scientific Literacy: A Conceptual Overview*. **Science Education**, Hoboken, v. 84, n. 1, p. 71-94, 2000.

LEE, John David. **Química inorgânica não tão concisa**. 5. ed. São Paulo: Blucher, 1999.

LIMA, Ivysson Humberto Santos de; MELO, Gabriela Tereza Pinheiro; CARNEIRO, Paulo Frassinetti Pereira; ANDRADE, Marcos Ely Almeida. Acidente Nuclear de Chernobyl: os efeitos biológicos da radiação. **Ciências Biológicas e de Saúde Unit**, Aracajú, v. 6, n. 1, p. 107-120, mar. 2020.

LIMA, Rodrigo da Silva; AFONSO, Júlio Carlos; PIMENTEL, Luiz Cláudio Ferreira. Raios-X: Fascinação, Medo e Ciência. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 263-270, 2009.

LIMA, Rodrigo da Silva; PIMENTEL, Luiz Cláudio Ferreira; AFONSO, Júlio Carlos. O despertar da Radioatividade ao Alvorecer do Século XX. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 93-99, maio 2011.

LORENZETTI, Leonir; DELIZOICOV, Demétrio. Alfabetização Científica no Contexto das Séries Iniciais. **Revista Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, p. 45-61, jun. 2001.

LUDKE, Menga; ANDRÉ, Marli Eliza Dalmazo Afonso de. **Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986, 99 p.

MALDANER, Otávio Aloísio. **A formação inicial e continuada de professores de Química professor/pesquisador**. Ijuí: Unijuí, 2020, 424 p.

MALDANER, Otávio Aloísio; GALIAZZI, Maria do Carmo. Como chegamos até esta roda de conversa do EDEQ? *In*: PASTORIZA, B. dos S.; SANGIOGO, F. A.; BOSENBECKER, V. K. (org.). **Reflexões e Debates em Educação Química Ações, Inovações e políticas**. Curitiba: CRV, 2017. cap. 2, p. 35-56.

MALDANER, Otávio Aloísio; ZANON, Lenir Basso. Situação de estudo: uma organização do ensino que extrapola a formação disciplinar em Ciências. *In*: MORAES, R.; MANCUSO, R. (org.). **Educação em ciências**: produção de currículos e formação de professores. Ijuí: Unijuí, 2004. p. 43-64.

MAMEDE, Maíra; ZIMMERMANN, Erika. Letramento Científico e CTS na Formação de Professores para o Ensino de Física. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA - SNEF, 16, 2005, Rio de Janeiro. **Anais** [...]. Rio de Janeiro, RJ, 24-28 jan. 2005. Disponível em: <https://sec.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/T0-264-1.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2020.

MANOSSO, Helena Cristina. **Desenvolvimento de eletrodos de troca iônica eletroquímica para o tratamento de rejeitos contendo íons Crômio e Césio**. 2006. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-08062007-145808/publico/HelenaCManosso.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2021.

MARCON, Daniel; GRAÇA, Amandio Braga dos Santos; NASCIMENTO, Juarez Vieira do. O conhecimento do contexto na formação inicial em Educação Física. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, São Paulo, v. 27, n. 4, p. 633-45, out./dez. 2013.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos da metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003, 311 p.

MARQUES, Deividi Márcio. Formação de professores de ciências no contexto da História da Ciência. **História da Ciência e Ensino – Construindo Interfaces**, São Paulo, v. 11, p. 1-17, 2015.

MARTINS, Roberto de Andrade. As primeiras investigações de Marie Curie sobre elementos radioativos. **Revista da Sociedade Brasileira da História da Ciência**, São Paulo, n. 1, p. 29-41, 2003.

MAXIMIANO, Flávio Antônio. Princípios para o currículo de um curso de Química. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 32, n. 94, p. 225-245, 2018.

MAZZILLI, Bárbara Paci; MÁDUAR, Marcelo Francis; CAMPOS, Márcia Pires de. **Radioatividade no meio ambiente e avaliação de impacto radiológico ambiental**. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). São Paulo, 2013. Apostila. Disponível em: https://www.ipen.br/portal_por/conteudo/posgraduacao/arquivos/201103311026310-Apostila%20TNA-5754%20abr-2011.pdf. Acesso em: 22 set. 2020.

MEDEIROS, Emerson Augusto de; AMORIM, Giovana Carla Cardoso. Análise Textual Discursiva: dispositivo analítico de dados qualitativos para a pesquisa em educação. **Laplage em Revista**, Sorocaba, v. 3, n. 3, p. 247-260, set./dez. 2017.

MESQUITA, Nyuara Araújo da Silva; CARDOSO, Thiago Miguel Garcia; SOARES, Marlon Hebert Flora Barbosa. O projeto de educação instituído a partir de 1990: caminhos percorridos na formação de professores de Química no Brasil. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 1, p. 195-200, 2013.

MESQUITA, Nyuara Araújo da Silva; SOARES, Marlon Hebert Flora Barbosa. Aspectos históricos dos cursos de licenciatura em Química no Brasil nas décadas de 1930 a 1980. **Química Nova**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 165-174, 2011.

MIGUEL, Fidel Luís Felismina. Efeitos ambientais resultantes do uso das tecnologias nucleares. **Kulongesa - TES**, v. 2, n. 2, p. 215-225, abr./jun. 2020.

MILLER, Jon D. Scientific Literacy: A Conceptual and Empirical Review. **Daedalus**, n. 112, p. 29-48, 1983.

MIRANDA, Mayara Souza; SUAR, Rita de Cássia; MARCONDES, Maria Eunice Ribeiro. Promovendo a alfabetização científica por meio de ensino investigativo no Ensino Médio de Química: contribuições para a formação inicial docente. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 17, n. 3, p. 555-583, set./dez. 2015.

MORAES, Roque; GALIAZZI, Maria do Carmo. **Análise Textual Discursiva**. Ijuí: Unijuí. 3. ed. 2020, 264 p.

MOREIRA, Bruno. A segurança no transporte de materiais radioativos: o transporte e a logística reversa no ciclo do combustível nuclear. **Brazilian Journal of Bussines**, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 328-343, jan./mar. 2020.

MOURÃO, Irineu da Costa; GHEDIN, Evandro. Formação do professor de Química no Brasil: a lógica curricular. **Educação em Perspectiva**, Viçosa, v. 10, p. 1-16, 2019.

NOUAILHETAS, Yannick. **Radiações Ionizantes e a vida**. Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), Rio de Janeiro, 2005, 42 p. Apostila Educativa. Disponível em: <http://www.cnem.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/radiacoes-ionizantes.pdf>. Acesso em: 21 set. 2020.

OKUNO, Emico. Efeitos biológicos das radiações ionizantes. Acidente radiológico de Goiânia. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 27, n. 77, p. 185-199, 2013.

OKUNO, Emico. **Radiação**: efeitos, riscos e benefícios. São Paulo: Oficina de Textos, 2018, 144 p.

OLIVEIRA, Alexandre Rodrigues de; CARVALHO, Ana Bandeira de; BRANDÃO-MELLO, Carlos Eduardo; ALMEIDA, Carlos Eduardo Velloso de; HUNT, John Graham; CURADO, Maria Paula; VALVERDE, Nelson José de Lima; FARINA, Rosana. **Revisitando o acidente radiológico de Goiânia 12 anos após**. Goiânia: FUNLEIDE, 2000. Relatório. Disponível em: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/50/035/50035667.pdf. Acesso em: 12 abr. 2021.

OLIVEIRA JUNIOR, Eurípedes Monteiro de. **O grande medo de 1987**: uma releitura do acidente com o cézio 137 em Goiânia. 2016. Tese (Doutorado em História) – Instituto de Ciências Humanas, Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/21508>. Acesso em: 11 jul. 2020.

OLIVEIRA, Hosana Larissa Guimarães; LEIRO, Augusto César Rios. Políticas de formação de professores no Brasil: referenciais legais em foco. **Pro-Posições**, Campinas, v. 30, p. 1-26, 2019.

PALANDI, Joecir; FIGUEIREDO, Dartanhan Baldez; DENARDIN, João Carlos; MAGNAGO, Paulo Roberto. **Física Nuclear**. Guia de estudo. Santa Maria: UFSM, 2010. 51 p. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/gef/arquivos/fisinuc.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2021.

PENICK, John E. Ensinando “alfabetização científica”. **Educar**, Curitiba, n. 14, p. 91-113, 1998.

PEREIRA, Elaine Campos. **Risco e Vulnerabilidade Socioambiental**: o ‘Depósito Definitivo de Rejeitos Radioativos’ na percepção dos moradores de Abadia de Goiás. 2005. Dissertação (Mestrado em Sociologia) – Faculdade de Ciências Humanas e Filosofia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/teses/M23192.pdf>. Acesso em: 16 set. 2021.

POZZOBON, Thayse Cristine. Responsabilidade penal da pessoa jurídica aplicada ao incidente radioativo de Goiânia. **Revista Justiça e Sistema Criminal**, Curitiba, v. 10, n. 18, p. 183-200, jan./jun. 2018.

QUINN, Susan. **Marie Curie**: uma vida. Tradução Sônia Coutinho, Scipione Cultural: São Paulo, 1997, 526 p.

RAMOS, Maurivan Guntzel. Implicações e desafios na formação de professores de Química diante das políticas curriculares. *In*: PASTORIZA, B. dos S.; SANGIOGO, F.

A.; BOSENBECKER, V. K. (org.). **Reflexões e Debates em Educação Química Ações, Inovações e políticas**. Curitiba: CRV, 2017. cap. 4, p. 70-80.

ROCHA, Sônia Fonseca. Acidente Radioativo com o cézio 137: a participação da marinha no atendimento as vítimas. **Revista Navigator**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 8, p. 9-78, 2008.

ROSA, Cleci Teresinha Werner da; ROZA DA SILVA, Júpiter Cirilio; DARROZ, Luiz Marcelo. Acidente Nuclear de Goiânia nos livros didáticos de Física. **Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias**, Bogotá, v. 14, n. 1, p. 51-62 ene./jun. 2019.

ROSA, Livia Maria Ribeiro; SUART, Rita de Cássia; MARCONDES, Maria Eunice Ribeiro. Regência e análise de uma sequência de aulas de química: contribuições para a formação inicial docente reflexiva. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 23, n. 1, p. 51-70, 2017.

ROSA, Tiago Franceschini da; LORENZETTI, Leonir; LAMBACH, Marcelo. Níveis de Alfabetização Científica e Tecnológica na Avaliação de Química do Exame Nacional do Ensino Médio. **Educação Química em Punto de Vista**, Foz do Iguaçu, v. 3, n. 1, p. 1-26, 2019.

ROSSI, Adriana Vitorino; FERREIRA, Luiz Henrique. A expansão de espaços para Formação de Professores de Química: atividades de ensino, pesquisa e extensão. *In*: ROSA, M. I. P.; ROSSI, A. V. (org.). **Educação Química no Brasil: memórias, políticas e tendências**. 2. ed. Campinas: Átomo, 2012. cap. 6, p. 127-142.

RUELA, Halliny Siqueira; BUENO, Joel Flores; FONSECA, Erika Bachini; CARMO, Ana Paula Felix Trindade. Azul da Prússia: aspectos químicos, farmacológicos e de eficácia e segurança para uso como medicamento. **Arquivos Brasileiros de Medicina Naval**, Rio de Janeiro, v. 77, n. 1, p. 38-45, 2016.

SANTOS, Raul dos; OLIVEIRA FILHO, Denizart Silveira. Divisão de Atendimento a Emergências Radiológicas e Nucleares IRD/CNEN, 2012. Disponível em: <http://www.nuclear.ufrj.br/semana2012/pdf/IRD/A-04%20-%20Acidentes%20Radiologicos%20e%20Nucleares%20-%202009.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2021.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos. **Aspectos sócio-científicos em aulas de Química**. 2002. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/IOMS-5KZJL9/1/2000000035.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2019.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos. Letramento em Química, educação planetária e inclusão social. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 611-620, 2006.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos. Contextualização no ensino de ciências por meio de temas CTS em uma perspectiva crítica. **Ciência & Ensino**, Piracicaba, v. 1, número especial, nov. 2007a.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos. Educação científica na perspectiva de letramento como prática social: funções, princípios e desafios. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 36, p. 474-492, set./dez. 2007b.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos. Educação Científica Humanística em Uma Perspectiva Freireana: Resgatando a Função do Ensino de CTS. **Alexandria Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, Florianópolis, v. 1, n. 1, p. 109-131, mar. 2008.

SASSERON, Lúcia Helena. **Alfabetização Científica no Ensino Fundamental: Estrutura e Indicadores deste processo em sala de aula**. 2008. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002263232>. Acesso em: 9 fev. 2020.

SASSERON, Lúcia Helena. Alfabetização Científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre Ciências da Natureza e Escola. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 17, n. especial, p. 49-67, nov. 2015.

SASSERON, Lúcia Helena; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Almejando a alfabetização científica no Ensino Fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. **Investigação em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p. 333-352, 2008.

SCHNETZLER, Roseli Pacheco. A pesquisa em ensino de química no Brasil: conquistas e perspectivas. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, Supl. 1, p. 14-24, 2002.

SCHNETZLER, Roseli Pacheco; ANTUNES-SOUZA, Thiago. Proposições didáticas para o formador Químico: a importância do triplete químico, da linguagem e da experimentação investigativa na formação docente em Química. **Química Nova**, São Paulo, v. 42, n. 8, p. 947-954, 2019.

SCHNETZLER, Roseli Pacheco; ARAGÃO, Rosália Maria Ribeiro. Importância, sentido e contribuições de pesquisa para o ensino de Química. **Química Nova na escola**, São Paulo, n. 1, p. 27-31, maio 1995.

SCHNETZLER, Roseli Pacheco; NIEVES, Karina; CAMPOS, Thiago. Tendências do ensino de Química na formação e atuação docentes, 2007. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIA - ENPEC, 6., 2007, Florianópolis, SC. **Anais [...]**, Florianópolis, SC, 28-01 nov./dez. 2007. Disponível em: <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/vienpec/CR2/p189.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2020.

SCHNETZLER, Roseli Pacheco; SOUZA, Thiago Antunes. O desenvolvimento da pesquisa em educação e o seu reconhecimento no campo científico da química. **Educação Química em Ponto de Vista**, Foz do Iguaçu, v. 2, n. 1, p. 1-19, ago. 2018.

SCHUMANN, Berta; BERWING, Juliane Altmann. Césio 137: o maior desastre radiológico e os possíveis caminhos para a gestão dos riscos futuros. **Revista Duc In Altum - Cadernos de Direito**, São Paulo, v. 10, n. 21, p. 195-233, maio/ago. 2018.

SCHUMANN, Berta; BERWING, Juliane Altmann. O desastre radiológico do césio 137: lições após 30 anos de sua ocorrência. **Direito, Estado e Sociedade**, São Paulo, n. 54, p. 62-86, jan./jun. 2019.

SERRA, Hiraldo. Formação de Professores e Formação para o ensino de ciências. **Educação e Fronteiras On-line**, Dourados, v. 2, n. 6, p. 24-36, set./dez. 2012.

SHIGUNOV NETO, Alexandre; FORTUNATO, Ivan. Donald Schön e o “professor reflexivo”. *In*: SHIGUNOV NETO, A.; FORTUNATO, I. (org.). **20 anos sem Donald Schön: o que aconteceu com o professor reflexivo?** São Paulo: Edições Hipótese, 2017. cap. 1, p. 5-12.

SILVA SÁ, Carmen Silvia da; SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos. Constituição de identidades em um curso de licenciatura em química. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 69, p. 315-338, abr./jun. 2017.

SILVA, Flávia Cristiane Vieira da. **Resolução de uma situação-problema sobre radioterapia para construção de conceitos de Radioatividade no Ensino Superior de Química**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2013. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/5468>. Acesso em: 21 set. 2021.

SILVA, Rejane Maria Ghisolfi; FERREIRA, Talita. Formação de Professores de Química: Elementos para a Construção de uma Epistemologia da Prática. **Contexto e Educação**. Ijuí, Ano 21, n. 76, p. 43-60, jul./dez. 2006.

SILVA, Renato Cesar da; SILVA, Roberta Maria da; AQUINO, Kátia Aparecida da Silva. A interação da Radiação Gama com a Matéria no Processo de Esterilização.

Revista Virtual de Química, Rio de Janeiro, v. 6, n. 6, p. 1624-1641, nov./dez. 2014.

SILVA, Roberta Maria da. **A radioatividade ambiental na formação inicial de professores de Química na perspectiva da aprendizagem significativa**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/7417>. Acesso em: 25 set. 2021.

SOARES, Carolina Chaves. Implicações jurídico-penais do acidente com o célio-137. *In*: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE O ACIDENTE RADIOLÓGICO DE GOIÂNIA – 10 ANOS DEPOIS, 1997, Goiânia, GO. **Anais [...]**, Goiânia, GO, 1997. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/go10anosdep/Cnen/doc/manu58.PDF>. Acesso em: 28 set. 2020.

SOARES, Magda. O que é letramento. **Presença Pedagógica**, Belo Horizonte, v. 2, n. 10, p. 83-89, jul./ago. 1996.

SOARES, Magda. Letramento e alfabetização: as muitas facetas. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, n. 25, p. 5-17, jan./fev./mar./abr. 2004.

SOARES, Magda. **Letramento**: um tema em três gêneros. 3. ed. Belo Horizonte: Autêntica Editora, 2009, 128 p.

SOARES, Marlon Hebert Flora Barbosa; MESQUITA, Nyuara Araújo da Silva; BENITE, Anna Maria Canavarro; ECHEVERRÍA, Agustina Rosa. A formação de professores de Química pela pesquisa: algumas ações da área de ensino de química do Instituto de Química da Universidade Federal de Goiás. **Espaço Plural**, Marechal Cândido Rondon, ano 13, n. 26, p. 70-87, 1º sem. 2012.

SUISSO, Carolina; GALIETA, Tatiana. Relações entre leitura, escrita e alfabetização/letramento científico: um levantamento bibliográfico em periódicos nacionais da área de ensino de ciências. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 21, n. 4, p. 991-1009, 2015.

TAUHATA, Luiz; SALATI, Ivan Pedro de Almeida; DI PRINZIO, Renato; DI PRINZIO, Maria Antonieta Ramos Ribas. **Radioproteção e Dosimetria**: Fundamentos. Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 10ª rev. abr. 2014. 344 p. Apostila. Disponível em: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/45/073/45073465.pdf. Acesso em: 15 set. 2020.

TAVARES, Mari Inêz. **Alfabetização e letramento científico**: discursos produzidos nas dissertações e teses (1992-2016). 2020. Tese (Doutorado em Educação) -

Centro de Educação, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2020.

Disponível em:

http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_14281_TAVARES_Mari%20Inez_tese_capa_roxa.pdf. Acesso em: 14 set. 2020.

TEIXEIRA, Flaviana Tavares Vieira; SILVEIRA, Gabriel Augusto Teixeira da; PIMENTEL, Dilton Martins. Acidente com o céσιο-137 completa 30 anos. **Revista Vozes dos Vales**, Diamantina, ano VI, n. 11, maio 2017.

TEIXEIRA, Francimar Martins. Alfabetização Científica: questões para reflexão. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 19, n. 4, p. 795-809, 2013.

TEIXEIRA, Odete Pacubi Baierl. A Ciência, a Natureza da Ciência e o Ensino de Ciências. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 25, n. 4, p. 851-854, 2019.

TEZOTTO-ULIANA, Jaqueline Visioni; SILVA, Paula Porrelli Moreira da; KLUGE, Ricardo Alfredo; SPOTO, Marta Helena Fillet. Radiação Gama em Produtos de Origem Vegetal. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 7, n. 1, p. 267-277, 2015.

TFOUNI, Leda Verdiani. Perspectivas históricas e a-históricas do letramento. **Cadernos de Estudos Linguísticos**, Campinas, v. 26, p. 49-62, jan./jun. 1994.

TFOUNI, Leda Verdiani; MONTE-SERRAT, Dionéia Motta; MARTHA, Diana Junkes Bueno. A abordagem histórica do letramento: ecos da memória na atualidade. **SCRIPTA**, Belo Horizonte, v. 17, n. 32, p. 23-48, 1º sem. 2013.

TFOUNI, Leda Verdiani; PEREIRA, Anderson de Carvalho; ASSOLINI, Filomena Elaine Paiva. Letramento e alfabetização e o cotidiano: vozes dispersas, caminhos alternativos. **Calidoscópico**, São Leopoldo, v. 16, n. 1, p. 16-24, jan./abr. 2018.

VASCONCELOS, Célia Helena. **Césio 137, trinta anos depois**: o silenciamento discursivo de uma tragédia. 2019. Dissertação (Mestrado em Letras e Linguística) – Faculdade de Letras, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/9390/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20C%C3%A9lia%20Helena%20Vasconcelos%20-%202019.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2020.

VIEIRA, Suzane de Alencar. Césio 137 um drama recontado. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 27, n. 77, p. 217-233, 2013.

VIZZOTTO, Patrick Alves; DEL PINO, José Cláudio. O uso do teste de alfabetização científica no Brasil: uma revisão da literatura. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 22, p. 1-24, 2020.

XAVIER, Allan Moreira; LIMA, André Gomes de; VIGNA, Camila Rosa Moraes; VERBI, Fabíola Manhas; BORTOLETO, Gisele Gonçalves; GORAIEB, Karen; COLLINS, Carol Hollingworth; BUENO, Maria Izabel Maretti Silveira. Marcos da história da radioatividade e tendências atuais. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 83-91, 2007.

YOSHIMURA, Elisabeth Mateus. Física das Radiações: interação da radiação com a matéria. **Revista Brasileira de Física Médica**, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 57-67, 2009.

ZAPATEIRO, Gean Aparecido; FIGUEIREDO, Márcia Camilo; ROCHA, Zenaide de Fátima Dante Correia; JACINTO, Samila. Percepção de licenciandos em Química sobre o ensino de Radioatividade a partir da História da Ciência. **Areté**, Manaus, v. 12, n. 26, p. 156-167, 2019.

ZAPATEIRO, Gean Aparecido; FIGUEIREDO, Márcia Camilo. Elaboração e Aplicação de uma situação de Estudo a partir do conteúdo Radioatividade: em foco a formação inicial em Química. **Revista Prática Docente**, Confresa, v. 5, n. 3, p. 1747-1765, 2020.

APÊNDICE 1

Questionário Professor

Prezado(a) professor(a), este questionário está dividido em duas partes: a primeira contém perguntas sobre a sua formação como licenciado em Química, e a segunda contém perguntas sobre a sua atuação docente na educação básica.

Parte I - As perguntas a seguir estão relacionadas a sua formação docente.

1ª - Em relação a sua formação

1) Você possui licenciatura em Química?

() Sim.

() Não.

2) Em que ano você concluiu a licenciatura em Química? _____

3) Em qual instituição de ensino superior, você concluiu a licenciatura em Química?

() Universidade Federal de Goiás (UFG), campus Goiânia.

() Universidade Federal de Goiás, regional Catalão.

() Universidade Federal de Goiás, regional Jataí.

() Universidade Estadual de Goiás (UEG), campus Anápolis.

() Universidade Estadual de Goiás (UEG), campus Formosa.

() Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC).

() Instituto Federal de Goiás (IFG), campus Anápolis.

() Instituto Federal de Goiás (IFG), campus Inhumas.

() Instituto Federal de Goiás (IFG), campus Itumbiara.

() Instituto Federal de Goiás (IFG), campus Luziânia.

() Instituto Federal de Goiás (IFG), campus Uruaçu.

() Instituto Federal Goiano (IF), campus Ceres.

() Instituto Federal Goiano (IF), campus Iporá.

() Instituto Federal Goiano (IF), campus Morrinhos.

() Instituto Federal Goiano (IF), campus Rio Verde.

() Instituto Federal Goiano (IF), campus Urutaí diurno.

() Instituto Federal Goiano (IF), campus Urutaí noturno.

() Uni Anhanguera.

- Unievangélica.
- Ulbra.
- Outra: _____

4) Os conteúdos relacionados a temática radioatividade foram abordados durante a sua graduação em Química?

- Não.
- Sim.

5) Se você respondeu SIM à questão 4, agora responda: o conteúdo radioatividade foi trabalhado numa disciplina específica sobre a temática ou abordado como um dos conteúdos de uma disciplina geral do curso?

- Específica.
- Geral.

6) Se você respondeu SIM à questão 4, qual(is) conteúdo(s)/conceito(s) foi(ram) abordado(s) pelo seu professor da graduação durante as aulas sobre radioatividade?

- Conceitos básicos como núcleo atômico e energia nuclear.
- Os principais conceitos do conteúdo radioatividade, como emissões radioativas, decaimento e tempo de meia-vida dos radioisótopos, reações nucleares de fissão e fusão, etc.
- Aplicações da radioatividade.
- Resíduos radioativos.
- Efeitos biológicos da radiação.
- Aspectos ambientais relacionados a radioatividade.
- O acidente radiológico com a fonte de Césio 137 ocorrido em Goiânia.
- Os acidentes radioativos que ocorreram no mundo, como o de Chernobyl.
- Histórico da descoberta da radioatividade.

7) Se você respondeu SIM à questão 4, qual foi a abordagem dada pelo professor ao ministrar a disciplina?

- Trabalhou somente com aulas expositivas de forma tradicional.
- Abordou os conceitos de forma contextualizada.
- Trabalhou com filmes e documentários sobre radioatividade/radiação/Césio 137.
- Fez visita técnica a Comissão Nacional de Energia Nuclear CNEN em Abadia de Goiás.
- Outro: _____

8) Se você respondeu SIM à questão de número 4, na sua opinião, a formação oferecida aos licenciados pela instituição na qual você é formado é adequada em relação a temática radioatividade e ao acidente radiológico ocorrido em Goiânia? Porque?

9) Em sua opinião, as Instituições de Ensino Superior do estado de Goiás que oferecem o curso de licenciatura em Química, deveriam ofertar disciplinas específicas sobre a temática radioatividade, com ênfase no acidente radiológico de 1987? Porque?

Parte II – As perguntas a seguir estão relacionadas a sua atuação docente.

10) Há quantos anos você atua como professor de Química na educação básica?

- Há menos de 5 anos.
- Entre 5 e 10 anos.
- Há mais de 10 anos.
- Há mais de 20 anos.

11) Em qual(is) rede(s) de ensino você trabalha?

- Na rede privada.
- Na rede públicas.
- Ambas as redes, pública e privada.

12) Você ministra ou já ministrou aulas sobre radioatividade na educação básica?

- Sim.
- Não.

13) Em qual série este conteúdo é/ foi ministrado por você?

- 8º Ano do Ensino Fundamental.
- 9º Ano do Ensino Fundamental.
- 1ª Série do Ensino Médio.
- 2ª Série do Ensino Médio.
- 3ª Série do Ensino Médio.
- Cursos preparatórios para o ENEM e Vestibulares.

14) Se você respondeu SIM à questão 12, qual(is) conteúdos/conceitos foi(ram) abordado(s) por você durante as aulas sobre radioatividade?

- Núcleo Instável (radionuclídeos).
- Emissões radioativas.
- Leis da radioatividade.
- Fissão nuclear.
- Fusão nuclear.
- Tempo de meia vida.
- Aplicações da radioatividade.
- Resíduos radioativos.
- Efeitos biológicos das radiações.
- Aspectos ambientais relacionados a radioatividade.
- Os acidentes radioativos que ocorreram no mundo, como o de Chernobyl.

15) Em suas aulas, você abordou o acidente radiológico ocorrido em Goiânia com uma fonte de Césio 137?

- Sim.
- Não.

16) Se você respondeu SIM à questão 15, de que forma o acidente foi abordado por você?

- Utilizei o acidente com a fonte de césio 137 ocorrido em Goiânia somente como exemplo da consequência do uso inadequado de materiais radioativos.
- Primeiro foram trabalhados os conceitos básicos envolvidos na temática radioatividade e posteriormente o acidente foi abordado.
- O acidente foi abordado no início do conteúdo como forma de contextualizar o assunto e os conceitos básicos da temática radioatividade foram trabalhados a partir das discussões sobre o acidente.
- O acidente foi discutido amplamente com os alunos.
- Outro: _____

17) Sob quais aspectos você abordou o acidente?

() Químico/conhecimento científico.

() Ambiental.

() Social.

() Político.

() Econômico.

() Outro: _____

18) Se você respondeu SIM à questão 15, quais recursos metodológicos você utilizou em suas aulas?

() Slides.

() Filmes.

() Documentários.

() Fotos que retratam o acidente.

() Visita ao CRCN (CNEN em Abadia de Goiás).

() Outro: _____

19) Você considera que os conhecimentos adquiridos durante a sua graduação em Química foram suficientes para balizar as suas aulas na educação básica? Explique.

20) Caso você tenha respondido NÃO à questão 4, você acredita que o fato de não ter estudado sobre radioatividade durante a sua graduação o prejudicou na sua atuação profissional, quando da necessidade de ensinar tal conteúdo? Explique.

21) Quais dificuldades você teve para ministrar o conteúdo radioatividade na educação básica?

ANEXO 1

Alguns dos acidentes radioativos e radiológicos ocorridos no mundo

Acidente/Local	Ano	Material Radioativo
Wuhan, China	1972	Cobalto 60
Columbus, Ohio, EUA	1974-1976	Cobalto 60
Three Mile Island, Pensilvânia, EUA	1979	Urânio 235
China	1985	Ouro 197
China	1985	Césio 137
Chernobyl, Ucrânia, União Soviética	1986	Urânio 235 e Césio 137
Césio 137, Goiânia/GO, Brasil	1987	Césio 137
San Salvador, El Salvador	1989	Cobalto 60
Soreq, Israel	1990	Cobalto 60
Nesvizh, Bielorrússia	1991	Cobalto 60
Tammiku, Estônia	1994	Césio 137
San José, Costa Rica	1996	Cobalto 60
Lilo, Geórgia	1997	Cobalto 60, Césio 137 e Rádio 226
Sarov, Rússia	1997	Urânio enriquecido
Istambul, Turquia	1998	Cobalto 60
Yanango, Peru	1999	Írídio 192
Tokaimura, Japão	1999	Urânio 235
Samut Prakarn, Tailândia	2000	Cobalto 60
Lia, Geórgia	2002	Estrôncio 90
Cochabamba, Bolívia	2003	Írídio 192
Gilan, Irã	2003	Írídio 192
Concepción, Chile	2005	Írídio 192
Quito, Equador	2009	Írídio 192
Fukushima, Japão	2011	Urânio 235 e Césio 137

Fonte: SANTOS; OLIVEIRA FILHO, 2012. Disponível em:

[http://www.nuclear.ufrj.br/semana2012/pdf/IRD/A-04%20-](http://www.nuclear.ufrj.br/semana2012/pdf/IRD/A-04%20-%20Acidentes%20Radiologicos%20e%20Nucleares%20-%202009.pdf)

[%20Acidentes%20Radiologicos%20e%20Nucleares%20-%202009.pdf](http://www.nuclear.ufrj.br/semana2012/pdf/IRD/A-04%20-%20Acidentes%20Radiologicos%20e%20Nucleares%20-%202009.pdf). Acesso em: 13 de dezembro de 2021.