



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Bauru

Rafael Gombrade

DISCURSOS DE ESTUDANTES SOBRE AS RADIAÇÕES
IONIZANTES E O SEU ENSINO EM UMA DISCIPLINA DE UM CURSO
DE FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE FÍSICA

Bauru
2023

Rafael Gombrade

**DISCURSOS DE ESTUDANTES SOBRE AS RADIAÇÕES
IONIZANTES E O SEU ENSINO EM UMA DISCIPLINA DE UM CURSO
DE FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE FÍSICA**

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Educação, junto ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Bauru.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Londero da Silva

Bauru
2023

G632d	Gombrade, Rafael Discursos de estudantes sobre as radiações ionizantes e o seu ensino em uma disciplina de formação inicial de professores de física. / Rafael Gombrade. -- Bauru, 2023 248 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências, Bauru Orientador: Leandro Londero da Silva 1. Radiação ionizante. 2. Professores Formação. 3. Análise do Discurso. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências, Bauru. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Câmpus de Bauru

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE RAFAEL GOMBRADÉ, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 22 dias do mês de agosto do ano de 2023, às 14:00 horas, no(a) Unesp - Campus São José do Rio Preto, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de RAFAEL GOMBRADÉ, intitulada OS DISCURSOS DE LICENCIANDOS EM FÍSICA SOBRE AS RADIAÇÕES IONIZANTES E O SEU ENSINO. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Assoc. LEANDRO LONDERO DA SILVA (Orientador(a) - Participação Presencial) do(a) Departamento de Educação / Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas - UNESP São José do Rio Preto, Prof. Dr. EDUARDO ADOLFO TERRAZZAN (Participação Presencial) do(a) Departamento de Educação / Universidade Federal de Santa Maria, Profa. Dra. IRINÉIA DE LOURDES BATISTA (Participação Presencial) do(a) Departamento de Física / Universidade Estadual de Londrina, Profa. Dra. SANDRA REGINA TEODORO GATTI (Participação Virtual) do(a) Departamento de Educação / Faculdade de Ciências - UNESP Bauru, Prof. Dr. HENRIQUE CESAR DA SILVA (Participação Presencial) do(a) Departamento de Metodologia de Ensino / Universidade Federal de Santa Catarina. Após a exposição pelo doutorando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final **aprovado**. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Documento assinado digitalmente
 LEANDRO LONDERO DA SILVA
Data: 02/09/2023 17:06:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Assoc. LEANDRO LONDERO DA SILVA

Rafael Gombrade

**DISCURSOS DE ESTUDANTES SOBRE AS RADIAÇÕES
IONIZANTES E O SEU ENSINO EM UMA DISCIPLINA DE UM CURSO
DE FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE FÍSICA**

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Educação para a Ciência, junto ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Bauru.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Leandro Londero da Silva
UNESP – Campus de São José do Rio Preto
Orientador

Prof. Dr. Eduardo Adolfo Terrazzan
UFSM – Campus de Santa Maria

Prof. Dr. Henrique Cesar da Silva
UFSC – Campus de Florianópolis

Prof. Dr. Irinéa de Lourdes Batista
UEL – Campus de Londrina

Prof. Dra. Sandra Regina Teodoro Gatti
UNESP – Campus de Bauru

Bauru
22 de agosto de 2023

*Ao meu ex-professor e hoje colega de profissão Airton
Algozini Junior, dedico essa tese pois, parafraseando
Isaac Newton, “Se cheguei até aqui foi porque me
apoiei no ombro dos gigantes”.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço de forma especial ao meu pai, Vanderlei, e à minha mãe, Anita, pelo amor, carinho, paciência e por não medirem esforços para que eu pudesse ter uma educação escolar de qualidade. Obrigado por acreditarem em mim! Em especial, agradeço minha mãe pelas inúmeras leituras de revisão dessa tese, me auxiliando nas correções, mesmo não sendo da área de física. Fico feliz em poder ter compartilhado essa vivência de quatro anos com você, realizando discussões sobre os capítulos (em especial o do referencial teórico que você tanto elogiou!) e ter te passado um pouco dos conhecimentos acerca da Física das Radiações Ionizantes. Ao meu pai por ter me ensinado uma das lições mais valiosas da vida quando brincávamos de futebol ainda criança: nunca ter me deixado ganhar! Com o tempo eu entendi que na vida iremos perder muito mais vezes do que vencer e devemos dar nosso melhor se quisermos conquistar nossos objetivos. Com essa lição, meu pai me fez um bom perdedor, além de um homem que sabe valorizar todas as suas conquistas.

Agradeço à minha irmã Bianca pelos bons momentos que compartilhamos; por todas as manhãs em que tínhamos que acordar às cinco da madrugada para irmos até Catanduva estudar. Agradeço pelas vezes em que me acolheu na sua casa, quando eu tinha aulas até tarde da noite e pude descansar para voltar tranquilamente no dia seguinte. Obrigado também pelo carinho, companheirismo e pela amizade.

À Raquel Alves, pelo carinho que me tem dedicado, pelo companheirismo e pelos bons momentos que temos passado juntos.

Agradeço também à minha ex-mulher Natália Nesso, pelos anos de namoro e casamento (doze ao total). Entendo que tudo em nossas vidas são ciclos e, por mais que não estejamos mais juntos, sou eternamente grato pela sua companhia e pelos bons momentos que compartilhamos juntos.

A todos os meus professores, pelo empenho e dedicação que tiveram comigo durante toda minha trajetória escolar e acadêmica. Cada um de vocês tem uma parte significativa nesse trabalho.

Ao meu orientador, prof. Dr. Leandro Londero, pela orientação, dedicação, paciência, pelo conhecimento que me proporcionou, pelos ensinamentos nesses quase dez anos de orientação e por acreditar que esse trabalho seria feito com extrema seriedade e qualidade. Além disso, agradeço pela amizade, pelos diversos jantares no seu apartamento e, também, na casa

da minha mãe, pelas conversas descontraídas e, também, pela seriedade em abordar questões relativas à minha pesquisa. Nossas ideias iniciais não eram convergentes, porém, com seu profissionalismo e sua determinação conseguimos chegar até aqui. Tenho enorme orgulho em ter sido o seu primeiro mestrando e ainda mais orgulho por ser o primeiro doutor que você orienta. Acredito que tenha conquistado seu respeito e espero que possamos trabalhar juntos, agora como colaboradores.

À nossa equipe de pesquisa “Susana Lehrer de Souza Barros”, pelas reuniões sempre produtivas.

À CAPES, pela bolsa cedida no período de 30 (trinta) meses que possibilitaram que eu obtivesse dedicação exclusiva para realizar o desenvolvimento deste trabalho.

À Adriana Aparecida Martins pela revisão final.

A natureza tomada ao pé da letra

Leis da natureza

*Eu escrevo: $\vec{F} = m\vec{\gamma}$
e a flecha voa.*

*Eu escrevo: $E_2 - E_1 = h\nu$
e a folha absorve o Sol.*

*Eu escrevo: $U = -G \frac{Mm}{|\vec{R} - \vec{r}|}$
e a Lua levanta a maré.*

*Eu escrevo: $\frac{dE}{d\omega} = \frac{V\omega^2}{\pi^2 c^3} \frac{\hbar\omega}{\exp\left(\frac{\hbar\omega}{kT}\right) - 1}$
e o ferro na forja fica vermelho*

*Eu escrevo: $dG = Vdp - SdT + \mu dN$
e a geada cobre a janela*

*Eu escrevo: $\Lambda_\mu = J_\mu, F_{\mu\nu} = \partial_\mu \Lambda_\nu - \partial_\nu \Lambda_\mu$
e a luz é.*

Eu escrevo: $P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v^2}$

e o vento noturno se levanta.

Eu escrevo: $\sin i = \sin r, \theta = \pi + 2i - 4r, \frac{d\theta}{di} = 0$

E o arco-íris se manifesta.

Eu escrevo: $(\frac{\partial^2}{\partial t^2} - c^2 \vec{\nabla}^2) p(\vec{r}, t) = 0$

E ouço sua voz

Eu escrevo, eu descrevo, eu decreto.

O universo se dobra à palavra

Adaptado de Jean Marc Levy-Leblond.

RESUMO

Na educação formal, são os professores que têm a responsabilidade de abordar e tratar as questões relacionadas aos fenômenos relacionados ao tópico da Física das Radiações Ionizantes, sendo esse assunto geralmente encontrado no currículo de Ciências da Natureza e suas tecnologias do terceiro ano do ensino médio no Brasil. Entretanto, devido a questões como a reestruturação do currículo básico, a partir da nova Base Nacional Comum Curricular (BNCC) as aulas de física deixaram de compor o currículo, passando a constituir a grande área de Ciências da Natureza. Essa transformação, acarreta na opção por conteúdos mais familiares aos professores de física que já se encontram no exercício da atividade, fazendo com que tópicos relacionados à Física das Radiações Ionizantes sejam abnegados pelos professores de física. Em geral, os professores afirmam que a inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea, como é o caso das radiações ionizantes, é importante e necessária. Eles argumentam que esse tópico evidencia ao aluno a relação entre a física e a tecnologia, porém algumas produções apontam que esse tema não é abordado nas aulas devido à falta de preparo dos professores e a falta de tempo, causada em partes pelo extenso conteúdo de física clássica que deve ser tratado. Ademais, constatamos que dentro da UNESP existe uma escassez na oferta por disciplinas específicas que discutam aspectos relacionados à Física das Radiações Ionizantes. Diante dessas constatações, nosso trabalho tem como objetivo refletir sobre os discursos produzidos pelos estudantes participantes, acerca dos sentidos que atribuem aos conteúdos e fenômenos do âmbito das Radiações Ionizantes e às possibilidades para o seu ensino, por meio de elementos da Análise de Discurso de linha francesa. Optamos por um modelo de pesquisa de abordagem qualitativa, na medida em que utilizamos questionários como instrumentos de coleta de dados em nosso estudo. Para a análise desses dados, levamos em consideração os aportes teóricos da Análise de Discurso da linha Francesa, a partir das produções de Michel Pechêux e das obras de Eni Orlandi, bem como o trabalho de H.M.C Eijkelhof, pesquisador holandês que trata de questões conceituais da Física das Radiações Ionizantes. As análises indicaram que não há uma disciplina que discuta especificamente aspectos relacionados à temática da física das radiações ionizantes nos cursos de formação inicial da UNESP. A partir dessa constatação, desenvolvemos uma disciplina que contemplasse esse conteúdo, aja visto que são conceitos relevantes e fundamentais que devem constituir a formação inicial dos licenciandos em física, visto que esse conteúdo se faz presente nos documentos oficiais como parte do conteúdo a ser trabalhado na educação básica.

Já em relação aos sentidos produzidos, pudemos verificar um avanço significativo dos participantes, já que identificamos nos discursos um avanço com o decorrer do curso, nos quais as respostas passaram a estar mais estruturadas, conceitualmente adequados e mais autênticos, sem se prender a respostas obtidas exclusivamente de textos digitais, oriundas de pesquisas da rede. Defendemos uma formação capaz de assegurar ao ensino básico um profissional que esteja preparado para lidar com os desafios que envolvam o ensino das radiações ionizantes e da radioatividade.

Palavras-chave: Física das Radiações Ionizantes. Formação inicial de professores. Análise de discurso.

ABSTRACT

In formal education, it is the teachers who are responsible for addressing and dealing with issues related to phenomena related to the topic of Physics of Ionizing Radiation, this subject being generally found in the curriculum of Natural Sciences and its technologies of the third year of high school in Brazil. However, due to issues such as the restructuring of the basic curriculum, based on the new National Common Curricular Base (BNCC), physics classes are no longer part of the curriculum, becoming the major area of Natural Sciences. This transformation leads to the option for contents that are more familiar to physics teachers who are already in the exercise of the activity, making topics related to the Physics of Ionizing Radiation to be neglected by physics teachers. In general, professors state that the insertion of topics from Modern and Contemporary Physics, as is the case of ionizing radiation, is important and necessary. They argue that this topic shows the student the relationship between physics and technology, but some productions point out that this topic is not addressed in classes due to the lack of preparation of teachers and lack of time, partly caused by the extensive content of physics. classic that should be treated. In addition, we found that within UNESP there is a shortage in the supply of specific disciplines that discuss aspects related to the Physics of Ionizing Radiation. Given these findings, our work aims to reflect on the discourses produced by the participating students, about the meanings they attribute to the contents and phenomena of the scope of Ionizing Radiations and the possibilities for their teaching, through elements of Discourse Analysis line french. We opted for a research model with a qualitative approach, where we used questionnaires as data collection instruments in our study. For the analysis of these data, we took into account the theoretical contributions of Discourse Analysis from the French line, from the productions of Michel Pechêux and the works of Eni Orlandi, as well as the work of H.M.C Eijkelhof, a Dutch researcher who deals with conceptual issues of Physics of Ionizing Radiation. The analyzes indicated that there is no discipline that specifically discusses aspects related to the theme of the physics of ionizing radiation in the initial training courses at UNESP. Based on this observation, we developed a discipline that contemplated this content, since these are relevant and fundamental concepts that must constitute the initial training of undergraduates in physics, since this content is present in official documents as part of the content to be worked on in the basic cycle.

In relation to the meanings produced, we were able to verify a significant advance of the participants, since we identified in the speeches an advance over the course of the course, in which the answers became more structured, conceptually adequate and more authentic, without

being tied to the answers obtained exclusively of digital texts, derived from research on the web. We defend training capable of ensuring basic education with a professional who is prepared to deal with the challenges involved in teaching about ionizing radiation and radioactivity.

Keywords: Physics of Ionizing Radiation. Initial Teacher Education. Discourse Analysis

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PNLD	Programa Nacional do Livro Didático
SI	Sistema Internacional
FRI	Física das Radiações Ionizantes
AD	Análise do Discurso
UE	Unidade de Ensino
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
IES	Instituição de Ensino Superior
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
CTSA	Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente
PLON	Physics Curriculum Development Project
USP	Universidade de São Paulo
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UFF	Universidade Federal Fluminense
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
IBILCE	Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas
UMURP	Universidade Municipal de São José do Rio Preto
FAFI	Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras
OMS	Organização Mundial da Saúde
ICNIRP	Comissão Internacional de Proteção Contra a Radiação Não Ionizante
LC	Letramento Científico
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
UV	Ultravioleta
EUA	Estados Unidos da América

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01: TUBO DE CROOKES PRODUZINDO RAIOS CATÓDICOS NO ESCURO (A) E EM AMBIENTE ILUMINADO (B).

FIGURA 02: REPRESENTAÇÃO DE UMA VÁLVULA DE HITORFF.

FIGURA 03- RADIOGRAFIA DA MÃO DE BERTHA RÖNTGEN, FEITA EM DEZEMBRO DE 1895.

FIGURA 04: DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE UM TUBO DE RAIOS-X.

FIGURA 05: UNIDADES UNIVERSITÁRIAS DA UNESP EM TODO ESTADO DE SÃO PAULO.

FIGURA 06: RADURA

FIGURA 07: GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS DE DIFERENTES NÚCLEOS ATÔMICOS.

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01: COLEÇÕES PNLD: 2018-2020 QUE APRESENTAM CONTEÚDOS DE FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES.

QUADRO 02: CONTEÚDOS E QUANTITATIVOS ENCONTRADOS NAS COLEÇÕES DO PNLD: 2018-2020

QUADRO 03: PRODUÇÕES RELACIONADAS ÀS PROPOSTAS DE ENSINO E RECURSOS DIDÁTICOS PARA O ENSINO DA FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES.

QUADRO 04: CONTEÚDOS DE FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES PROPOSTOS POR EIJKELHOF (1990).

QUADRO 05: INSTITUIÇÕES COM CURSOS DE FÍSICA LICENCIATURA NO ESTADO DE SÃO PAULO.

QUADRO 06: DISCIPLINAS IDENTIFICADAS QUE TRATAM DAS RADIAÇÕES IONIZANTES.

QUADRO 07: TÓPICOS DE RADIAÇÕES IONIZANTES NA EMENTA DE QUÍMICA GERAL.

QUADRO 08: TÓPICOS DE RADIAÇÕES IONIZANTES NA EMENTA DE FÍSICA IV.

QUADRO 09: DISPOSIÇÃO DOS TÓPICOS DE FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES NAS DUAS UNIDADES DA UNESP.

QUADRO 10: DISCIPLINAS MAPEADAS NOS CURSOS DE FÍSICA LICENCIATURA DA UNESP .

QUADRO 11: DADOS DOS PARTICIPANTES DA PESQUISA

QUADRO 12: SÍNTESE DOS CONTEÚDOS E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS POR ENCONTRO

QUADRO 13: ASSUNTOS QUE OS ALUNOS GOSTARIAM QUE FOSSEM ABORDADOS NA DISCIPLINA POR SEXO

ÍNDICE ANALÍTICO

APRESENTAÇÃO	19
INTRODUÇÃO	21
CAPÍTULO 1. A FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES: UMA BREVE DESCRIÇÃO HISTÓRICA E CONCEITUAL	27
1.1. AS ORIGENS DA FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES	27
1.2. EXPERIMENTOS DA GÊNESE DA FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES E DA RADIOATIVIDADE	30
1.3. ASPECTOS CONCEITUAIS ACERCA DOS RAIOS X: CARACTERÍSTICAS E PRODUÇÃO	33
1.4. PRODUÇÃO DE RAIOS X: RAIOS X DE FREAMENTO E CARACTERÍSTICOS	35
1.5. BECQUEREL E A “DESCOBERTA” DA RADIOATIVIDADE.	36
1.6. MARIE E PIERRE CURIE: DETECÇÃO DE NOVOS ELEMENTOS RADIOATIVOS	38
1.7. O CONCEITO DE ELEMENTO QUÍMICO, ISÓTOPO, NUCLÍDEO E RADIONUCLÍDEO	40
1.8. DESINTEGRAÇÃO NUCLEAR	41
1.9. IRÈNE CURIE E FREDERIC JOLIO: DESCOBERTA DA RADIOATIVIDADE ARTIFICIAL	42
1.10. LEI DO DECAIMENTO RADIOATIVO	44
1.11. ATIVIDADE DE UMA AMOSTRA RADIOATIVA	45
CAPÍTULO 2. OS CONTEÚDOS DA FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES E DA RADIOATIVIDADE ABORDADOS NO PROGRAMA NACIONAL DO LIVRO E DO MATERIAL DIDÁTICO (2018-2020) E NAS PRODUÇÕES ACADÊMICAS EM ENSINO DE CIÊNCIAS.	47
CAPÍTULO 3. A CONSTRUÇÃO DO CURRÍCULO DA FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES NOS CURSOS DE FÍSICA DA UNESP	57
CAPÍTULO 4. ASPECTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA	71
4.1. A NATUREZA DA PESQUISA	71
4.2. O LOCAL DE REALIZAÇÃO	72
4.3. O DOCENTE	73
4.4. OS ESTUDANTES MATRICULADOS E COLABORADORES DO ESTUDO	74
4.5 A COLETA DOS DADOS – O USO DE QUESTIONÁRIOS E GRAVAÇÕES DAS AULAS	99
4.6 CONSIDERAÇÕES ACERCA DOS ELEMENTOS DA ANÁLISE DO DISCURSO	101
CAPÍTULO 5. RESULTADOS DAS ATIVIDADES IMPLEMENTADAS	107
5.1. A AULA 01 – PRÉ-AULA E QUESTIONÁRIO INICIAL	107
5.2. A AULA 02 – MODELOS ATÔMICOS	120

5.3. A AULA 03 – CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SOBRE RADIAÇÃO E RADIOATIVIDADE	125
5.4. A AULA 04. RAIOS X E AS UNIDADES DE RADIAÇÕES	131
5.5. A AULA 05. RADIOISÓTOPOS E DECAIMENTO RADIOATIVO	135
5.6. A AULA 06. INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA	142
5.7. A AULA 07. ACIDENTE DE CHERNOBYL	146
5.8. A AULA 08. PROJETO MANHATTAN	154
5.9. A AULA 09. BOMBAS NUCLEARES	165
5.10 AULA 10. APLICAÇÕES DAS RADIAÇÕES IONIZANTES	173
5.11 AS AULAS 11 E 12 – PROTEÇÃO RADIOLÓGICA E A ABORDAGEM CTSA NO ENSINO DAS RADIAÇÕES	180
5.12 A AULA 13. GAMEFICAÇÃO	185
5.13 A AULA 14. PESPECTIVA DO RISCO	190
5.14 AVALIAÇÃO FINAL DA DISCIPLINA	193
CONSIDERAÇÕES FINAIS	198
REFERÊNCIAS	202
FUNDAMENTAÇÃO CONCEITUAL	216
ANEXO I	221
ANEXO II	223
ANEXO III	225
ANEXO IV	226
ANEXO V	227
ANEXO VI	229
ANEXO VII	233
ANEXO VIII	238
ANEXO XIX	244
ANEXO X	247

APRESENTAÇÃO

O ser humano possui um desejo primitivo de perpetuar seus próprios genes, sobreviver ao tempo, atravessar as gerações. A crença de perpetuação genética acaba sendo uma falácia quando notamos que após três gerações, os antepassados caem no ostracismo das gerações subsequentes (provavelmente o leitor dessa produção sequer conheceu seu bisavô ou bisavó). Além de falaciosa, é extremamente injusta com seu progênito a responsabilidade de deixar um legado em nome de seu antecessor. O nosso sucesso deveria depender única e exclusivamente das nossas ações!

É provável que, uma forma mais eficaz de reconhecimento seja a realização de grandes feitos, como por exemplo se destacar dentro de uma área profissionalmente. A real motivação dessa tese é a realização de um sonho de infância que, com o tempo se mostrou um desejo natural: tornar-me um grande cientista. É óbvio que a noção do que é ser um cientista foi sendo modificada conforme eu amadurecia, passando para o status de pesquisador. E por que seguir essa carreira? Desde criança sempre fui muito curioso, sempre perguntava para a minha mãe o porquê das coisas; queria saber de tudo! Mas talvez a pergunta chave que me fez me tornar um pesquisador foi “Quem é a pessoa que sabe de tudo no mundo, mamãe?” ao passo que ela me respondeu que “ninguém sabe tudo”. Naquele dia eu, no alto dos meus sete anos, tive a petulância de achar que essa pessoa seria eu. Todavia, minha mãe estava certa e era impossível uma pessoa saber tudo sobre todas as coisas. Entretanto, e sobre a natureza? E por que não tentar saber sobre as coisas que todo mundo achava difícil? Será que isso poderia me fazer mais “inteligente”? Descobri os cientistas e tão rapidamente o famoso prêmio Nobel, entregue àqueles que dedicaram anos de estudos para que conseguissem ser reconhecidos pelos seus pares. Queria ainda mais ser um cientista e ganhar um prêmio Nobel; ensaiava até o discurso para o rei da Suécia. Porém, o pedantismo me derrubou diversas vezes até que eu percebi que teria de ser mais dedicado e esforçado do que “inteligente” para chegar longe e ser reconhecido como alguém que tivesse feito algo importante e deixasse um legado.

O sonho do Nobel desapareceu no primeiro dia do curso de bacharelado em Física Biológica. Entrei na lista de espera e a minha primeira aula foi de cálculo, na qual cheguei atrasado por não encontrar a sala e deparo-me com uma aula sobre limite. Pensei “que diabos é isso?”. No outro dia já estava a ligar para minha mãe e informar o desejo de trancar o curso. Ela disse que não e pediu para a Natália me ligar e convencer a ficar, bem como um antigo professor de física do ensino médio (a quem dedico essa tese) que me acalmou e mostrou que o caminho

seria difícil. Realmente foram seis longos anos de graduação, diversas vezes pensei em desistir, mas finalmente conclui o bacharelado.

Já tinha realizado o sonho de infância! Em 2014 eu era, oficialmente, um cientista. E agora? Bem, o próximo passo era tentar o mestrado. E realmente ficou somente na tentativa, já que não fui aprovado no processo de seleção. Um dos dias mais tristes da minha vida foi, sem dúvidas, fundamental para que eu escrevesse essa tese. Como não queria perder o vínculo com a Universidade, pedi o reingresso como portador de diploma e resolvi cursar a licenciatura, curso recém-criado. Meu pedantismo voltava à tona mais uma vez. Acreditava que as disciplinas pedagógicas eram apenas “enrolação” e que nada ajudariam na minha formação. Queria somente o diploma para poder dar aulas e prestar novamente o mestrado. Todavia, uma das primeiras disciplinas que tive foi com meu orientador. Tínhamos uma relação de amor e ódio. Por um lado, ele mostrou que existia a área de pesquisa em ensino de física, as pesquisas que poderiam ser realizadas, o caminho que poderia ser trilhado. Porém, ele insistia no discurso de que quem era remanescente do bacharelado não tinha outra opção, senão ir para a licenciatura para conseguir se inserir no mercado de trabalho. Após alguns meses, e várias disciplinas, ele me convidou para participar do seu grupo de pesquisa, o que de cara eu neguei. Isso quase custou meu futuro, mas me negava a trabalhar com alguém que por vezes apresentava um discurso vilipendioso quanto a minha formação.

Foram necessários dois anos até que eu o procurasse e perguntasse se o convite para participar do seu grupo de pesquisa ainda estava de pé. Ele me aceitou no grupo e desde 10 de março de 2016 sou um dos integrantes da Equipe de Educação em Física “Susana Lehrer de Souza Barros”. Juntos formamos uma boa dupla, provavelmente porque temos ambições parecidas, gostamos de excelência em nossas produções. Isso possibilitou até a entrega dessa tese, três artigos, um capítulo de livro e diversas participações em eventos da área de ensino de física. Mais que isso, com a nossa parceria obtive minha titulação de mestre. Nessa etapa, desenvolvemos uma dissertação que tinha como objetivo investigar as interpretações que os estudantes da educação básica apresentavam sobre física das radiações a partir da leitura de textos de divulgação científica. Todavia, identificamos que havia uma questão importante a ser tratada: o professor de física que auxiliou na implementação das atividades não compreendia de maneira satisfatória os fenômenos relacionados às radiações. Assim, para o doutorado, pensamos em uma disciplina voltada a formação inicial de futuros professores de física, a fim de analisar, a partir dos discursos produzidos por licenciandos em física, quais os sentidos que eles atribuem aos fenômenos relacionados às radiações. Podemos então admitir que o objetivo da tese foi concebido a partir da constatação de que se faz necessária a inserção de tópicos

relacionados à física das radiações na formação inicial de licenciandos em física. A seguir, iniciaremos a exposição dos conceitos associados à temática de nossa tese.

INTRODUÇÃO

Entre o final do século XIX e o início do século XX, surgiram fenômenos que revolucionaram a Física Clássica e abriram caminho para novas áreas, tais como a Relatividade e a Física Quântica. A partir da proposição de uma partícula elementar e da estimativa tanto da carga quanto da sua massa (relação carga/massa do elétron), dos experimentos de Röntgen e, conseqüentemente, da detecção de seus “novos raios” e dos trabalhos de Becquerel e do casal Curie um novo campo da ciência começou a ser concebido: o da Física das Radiações Ionizantes (doravante FRI).

Segundo Segrè (1987), Wilhelm Röntgen enviou dados preliminares relacionados aos seus novos raios a diversos colegas, entre eles Henri Poincaré, um matemático que havia participado de debates relacionados aos raios catódicos estudados por Julius Plücker e Eugen Goldstein. Por seis semanas, o físico viveu em seu laboratório buscando entender o fenômeno que havia observado. De acordo com Segrè;

Na noite de 8 de novembro de 1895, Röntgen estava trabalhando com uma válvula de Hittorf que tinha coberto totalmente com cartolina negra. A sala estava inteiramente às escuras. A certa distância da válvula havia uma folha de papel, usada como tela, tratada com platinocianeto de bário. Para seu espanto, Röntgen viu-a brilhar, emitindo luz. [...] Descobriu um “novo tipo de raio”, conforme ele mesmo explicou em sua primeira publicação sobre o assunto. (p.20-21)

Em razão de seus estudos, Röntgen é laureado com o primeiro prêmio Nobel de Física devido às suas contribuições nos estudos das radiações. Todavia, esse era apenas o início dos estudos acerca desse novo fenômeno.

A radioatividade, apesar de não ter essa designação, passou a atrair olhares de todas as partes, inclusive por Henri Becquerel logo após a detecção de Röntgen. Conforme aponta Segrè (1987), Becquerel foi capaz de constatar que a radiação emitida pelo urânio não apenas escurecia as chapas fotográficas, mas também era capaz de ionizar gases, convertendo-os em condutores. Dessa maneira, foi possível quantificar a atividade de uma amostra medindo a ionização que um determinado gás sofria.

O passo seguinte nessa nova revolução foi dado logo após as publicações de Becquerel por Marie e Pierre Curie. De acordo com Strathern (2000, p.38), “Marie Curie havia acompanhado os experimentos de Röntgen e Becquerel com grande interesse, discutindo-as

com Pierre como sempre”. Conforme aponta Segrè (1987), em dezembro de 1897, Marie solicitou que seu marido sugerisse um tema para sua tese de doutorado, ao passo que Pierre recomendou o estudo do “novo fenômeno” descoberto por Becquerel. Marie iniciou seus trabalhos estudando a radiação emitida por sulfato de potássio urânio, realizando uma réplica do experimento de Becquerel. Em seguida, começou a estudar diferentes compostos de urânio, entre eles alguns sais de Urânio e a pechblenda (forma mineral do óxido de urânio).

Ao longo de seus experimentos, Marie Curie notou que só uma coisa afetava a quantidade de radioatividade: a quantidade de urânio presente na amostra. A partir dessa constatação;

[...] Marie Curie confirmou a descoberta de Becquerel de que a emissão dos raios é uma propriedade atômica do urânio. Decidiu, assim, examinar “todos os elementos então conhecidos” e descobriu que somente o tório emitia os raios “semelhantes aos do urânio”. Nesse ponto, depois de descobrir que o urânio não era o único elemento que emitia radiação espontânea, Madame Curie propôs a palavra radioatividade para esse fenômeno. (SEGRÈ, 1987, p.35-36)

Nas palavras de Strathern (2000, p.40), “a fonte da radioatividade não eram os compostos de urânio: essa propriedade pertencia aos próprios átomos de urânio”. A partir dessa constatação, surgiu uma nova dúvida: seria essa propriedade exclusiva do urânio? Para responder essa questão, Marie recorreu a sais de elementos que possuíam peso atômico próximo do urânio, como o tório. Ao reproduzir o mesmo experimento com o óxido de tório, Marie não teve dúvidas: o tório também era radioativo.

Essa confirmação (emissão de radiação do tório) provocou o interesse de Marie que, junto com o marido Pierre Curie, possibilitou elucidar a natureza complexa da radiação nuclear. Pelo trabalho desenvolvido junto com Becquerel, Marie e Pierre foram agraciados com o prêmio Nobel de Física em 1903, juntamente com Becquerel.

No que diz respeito ao ensino da FRI na formação inicial de professores, identificamos poucos trabalhos (BRUGLIATO, 2020; SILVA, 2017; BEZ, ALEXANDRE E COSTA, 2013; SORPRESO, 2008; KELECOM E GOUVEA, 2002; EIJKELHOF, 1990) que contemplam conteúdos relacionados aos fenômenos da FRI e da radioatividade. Esse conjunto de estudos convergem na busca de entender diferentes aspectos do ensino junto a estudantes de cursos de física.

Brugliato (2020) elaborou uma Unidade de Ensino (UE) na qual convidou licenciandos em física a efetuarem a leitura de trechos extraídos de livros didáticos e de textos de divulgação científica para, em seguida, responderem a questionários relacionados à Física Nuclear. Em

suas análises, a autora concluiu que alunos que participaram, aparentemente alteraram suas concepções quanto à utilização de textos de divulgação científica, já que eles tiveram a percepção de que esse tipo de texto poderia ser utilizado em sala de aula, uma vez que, na percepção deles, tratava-se de uma leitura agradável.

Silva (2017) construiu uma UE de onze aulas com duração total de 150 minutos cada, implementando a proposta em uma disciplina obrigatória de um curso de Física Licenciatura, na qual abordou aspectos do funcionamento dos aparelhos e exames de radiografia, tomografia computadorizada, tomografia por emissão de pósitrons e ressonância magnética, bem como de que maneira se situa em suas representações a possibilidade de trabalhar esse tema no Ensino Médio. Os resultados apontaram que os licenciandos que participaram da pesquisa produziram representações que indicaram no sentido de trabalhar aspectos relacionados ao funcionamento dos aparelhos e exames de diagnóstico médico por imagem, desde que ocorram problematizações associadas a questões sócio-históricas e fomentem a reflexão e questionamentos por parte dos estudantes.

Com o objetivo de conhecer as concepções dos alunos de um curso de Ciências da Natureza, com Habilitação em Física, sobre a radioatividade, Bez, Alexandre e Costa (2013) aplicaram um questionário para 30% dos alunos do curso do Instituto Federal de Santa Catarina, campus de Araranguá. A maioria dos alunos apresentou desconhecimento sobre o fenômeno da radioatividade e aspectos relacionados, tais como radioatividade, onda eletromagnética, raios-x e desconhecimento quanto ao funcionamento de aparelhos de raios-x e fornos micro-ondas. Os autores sugerem a execução de atividades que tragam evolução conceitual dos discentes, como, por exemplo, realização de cursos de extensão de Formação Inicial e Continuada acerca desses conceitos.

Com vistas a compreender o imaginário de licenciandos em Física, a respeito da inclusão da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, Sorpreso (2008), acompanhou uma turma de licenciandos que cursaram a disciplina *Prática de Ensino de Física e Estágio Supervisionado* no primeiro semestre de 2005, no período diurno, na Faculdade de Educação da Universidade Estadual de Campinas. Dentro da temática *Questão Nuclear*, os licenciandos prepararam *episódios de ensino* nos quais deveriam estar presentes uma das seguintes abordagens: História da Ciência; Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente; Resolução de Problemas e Linguagens no Ensino de Ciências. A autora constatou que a Física Nuclear é um assunto muito recorrente nos meios de comunicação e que, dessa forma, seu estudo seria uma forma de conectar a Física da escola com a vida do estudante, permitindo ao aluno uma compreensão mais crítica acerca desse fenômeno. Além disso, segundo a autora, os episódios

de ensino contribuíram significativamente para que os licenciandos pensassem sobre suas próprias concepções de ciência e educação.

Na perspectiva de Kelecom e Gouvea (2002) a percepção da radioatividade por estudantes universitários é muito superficial. Os autores aplicaram questionários com alunos da Universidade Federal Fluminense (UFF), inscritos numa das diversas disciplinas de Radiobiologia ministradas pelos autores. Os alunos eram oriundos de 9 cursos de graduação: Ciências Biológicas, Enfermagem, Farmácia, Física, Medicina, Medicina Veterinária, Odontologia, Nutrição e Psicologia, e 2 cursos de pós-graduação: Biologia Marinha (PGBM) e Ciência Ambiental (PGCA). Ao final da pesquisa, os autores concluíram que as informações dos estudantes acerca das radiações ionizantes provêm da imprensa, raramente de estudos, fazendo com que ela seja desconhecida, temida e rejeitada. Em geral eles não sabiam defini-la, sequer parcialmente, nem conhecem a maioria das suas aplicações. Aceitam a existência de radioatividade natural no solo e a execução de testes nucleares ambientalmente limpos e seguros para todas as formas de vida.

Eijkelhof (1990), por sua vez, apresenta em sua obra uma extensa coletânea de dados acerca dos conceitos de radiações e radioatividade, passando pela proposta educacional dos Países Baixos, pelas concepções de estudantes da educação básica, ensino superior e especialistas para corroborar a prerrogativa de que o ensino das radiações ionizantes é de suma relevância para a formação do cidadão, visto que esses conceitos se fazem presentes no cotidiano da população.

Diferentemente dos trabalhos anteriores, desenvolvemos uma disciplina para o curso de licenciatura com ênfase nos fenômenos conceituais da radioatividade e da FRI. Por essa razão, efetuamos um estudo relacionado ao currículo dos cursos de física. Sabemos que o currículo desempenha um papel fundamental na formação de qualquer profissional. No curso de Física Licenciatura é imprescindível um currículo que dê conta não somente da área do conhecimento, mas também das áreas relativas ao desenvolvimento de novas tecnologias, bem como suas aplicações, privilegiando o desenvolvimento crítico, social, histórico-cultural e, ao mesmo tempo, proporcionando ao licenciando uma reflexão de tudo que engloba o universo da Física e o capacitando para sua futura carreira.

Desta maneira, elaborei uma proposta de ensino que versa sobre a FRI e o fenômeno da Radioatividade, a qual foi implementada junto a estudantes do curso de física licenciatura da UNESP (campus São José do Rio Preto), com o objetivo de **refletir sobre os discursos produzidos pelos estudantes participantes, acerca dos sentidos que atribuem aos conteúdos e fenômenos do âmbito das Radiações Ionizantes e às possibilidades para o seu**

ensino, por meio de elementos da Análise de Discurso de linha francesa. Perante isso, busquei responder os seguintes problemas de pesquisa:

1) Quais sentidos são atribuídos, por um grupo de estudantes de nível superior, aos conteúdos e fenômenos do âmbito das Radiações Ionizantes, bem como às possibilidades para o seu ensino?

2) Em que medida uma disciplina, que versa sobre Radiações Ionizantes, ofertada para a formação inicial de professores de física, proporciona aos estudantes a atribuição de sentidos aos conteúdos nela abordados?

A pesquisa que apresento originou-se de minha experiência no mestrado, na qual investiguei o ensino da física das Radiações Ionizantes e do Fenômeno da radioatividade junto alunos do Ensino Médio. Naquele momento, uma questão me pareceu relevante e emergiu de uma conversa informal com um dos professores da rede pública que colaborou com minha investigação.

O professor afirmou nunca ter estudado a respeito daquele conteúdo na universidade. Isso me motivou a um novo trabalho, agora com foco na formação dos licenciandos em física. Diante disso, o objetivo maior foi o de proporcionar aos estudantes, em formação inicial, uma disciplina que contemple a temática supracitada e que possibilite ao futuro professor condições iniciais para discutir assuntos como irradiação de alimentos, acidentes nucleares e proteção radiológica com alunos da Educação Básica.

Nesse sentido, a pesquisa que relatarei se justifica pelo fato de entender que se faz necessário possibilitar aos futuros professores um diálogo entre a teoria, a prática e reflexão de um conteúdo que é contemplado pelo Currículo Paulista. À vista disso, elaboramos e ofertamos uma disciplina, em caráter optativo, que discutisse a FRI e o fenômeno da radioatividade com aspectos conceituais e pedagógicos, com o objetivo de identificar quais os sentidos são atribuídos por futuros professores de física.

Para a investigação, elaboramos um conjunto de quinze aulas que foram implementadas, junto a estudantes de um curso de Formação Inicial de professores de Física de uma universidade pública do estado de São Paulo, e analisadas sob o referencial teórico e analítico da Análise do Discurso da linha Francesa.

Dessa maneira, o texto que apresento foi dividido em cinco capítulos. No primeiro capítulo abordaremos aspectos históricos e conceituais da FRI e do fenômeno da Radioatividade. O capítulo foi desenvolvido a partir da perspectiva dos experimentos que precederam o descobrimento dos raios X em 1895 por Röntgen, passando pelos trabalhos de

Becquerel e de Marie Curie que possibilitaram compreender o fenômeno da radioatividade natural de determinados elementos químicos (como o urânio, o rádio e o polônio). Finalizo com as proposições de Irène Curie e Jean Frederic Joliot que culminaram no entendimento da radioatividade artificial. Paralelamente aos acontecimentos e às descobertas históricas, apresento os conceitos físicos e relações matemáticas para auxiliar o leitor na compreensão desses tópicos.

O segundo capítulo é reservado a apresentação das produções acadêmicas dos últimos dez anos e os conteúdos relacionados à FRI e aos fenômenos da Radioatividade presentes no Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) do triênio 2018-2020. Nesse capítulo, realizei um levantamento para identificar os principais tópicos abordados nas produções científicas da última década e verificar se existem correlação entre as produções e os conteúdos abordados na Educação Básica.

No terceiro capítulo, realizei um levantamento nos currículos dos cursos de Física Licenciatura da UNESP com o objetivo de analisar quais os conteúdos relativos à Física das Radiações Ionizantes encontram-se presentes na formação inicial dos professores de física dessa instituição.

O quarto capítulo foi dedicado ao dispositivo analítico utilizado na pesquisa. Vale destacar que esse capítulo foi desenvolvido a partir da AD de linha francesa, por meio das produções de Eni Orlandi.

O capítulo cinco foi destinado à fundamentação teórica da proposta didática e a implementação dela. Neste capítulo tratei de descrever a proposta didática, bem como relatar a instituição colaboradora, os participantes e aspectos do docente responsável pela implementação da proposta, bem como a implementação das atividades.

Finalmente, o capítulo seis apresenta as análises realizadas, bem como as considerações a que chegamos. Desejamos a todos aqueles que tenham interesse nessa produção, uma boa leitura!

CAPÍTULO 1. A FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES: UMA BREVE DESCRIÇÃO HISTÓRICA E CONCEITUAL

No capítulo 1, optei por apresentar uma breve introdução teórico-conceitual da FRI e da Radioatividade com o intuito de produzir e disponibilizar, aos licenciandos em física, um material que contemplasse os conteúdos específicos da FRI, bem como aspectos da história de sua constituição. Defendo que essa constituição (histórico-conceitual) é relevante quando

pensamos em atingir o público constituído por futuros professores de física, uma vez que, há na literatura da área de Educação em Ciências diversos trabalhos que realçam o valor histórico das construções acerca dos fenômenos físicos contemplado nessa tese, com descrições minuciosas e fatos que passam despercebidos em aulas de história da Física. Concordo com El-Hani (2006) que:

É preciso enfatizar, ainda, que não se trata somente de incluir uma abordagem dos processos de construção do conhecimento científico no Ensino de Ciências, mas de considerá-los no contexto histórico, filosófico e cultural em que a prática científica tem lugar. Ou seja, não é o caso de focar-se somente a participação de alunos e professores em atividades simuladas de investigação científica, sem tratamento explícito e crítico das dimensões históricas e filosóficas envolvidas em tal investigação (p. 3).

Destacar, atenuar e exhibir esses aspectos é algo que me parece extremamente importante para o futuro professor de Física, uma vez que situar e contextualizar o estudante dentro do momento histórico pode contribuir para o processo de ensino-aprendizagem.

1.1. AS ORIGENS DA FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES

A física entre o final do século XIX e início do século XX pode ser definida por uma palavra: **revolucionária**. De acordo com Martins (2012) a detecção das FRI e da radioatividade ocorreu de maneira surpreendente, pois, até aquele momento, fenômenos físicos eram descritos por hipóteses ou teorias, embora os cientistas logo buscassem atrelar esses conhecimentos com concepções já vigentes. No caso da radioatividade, Martins (2012) expõe que esse novo fenômeno observado permitiu que a própria visão de mundo dos pesquisadores fosse abalada pelos novos fatos, contribuindo para que os cientistas se dirigissem aos seus laboratórios procurando conceber e assimilar esse mais novo acontecimento no campo da ciência.

Segundo Segrè (1987) a história da Física das Radiações teve início por volta do ano de 1895, uma vez que, durante dois ou três anos dessa época, os físicos deram uma guinada decisiva com algumas comprovações experimentais que ampliaram o conhecimento microscópico do mundo atômico. Tais comprovações só se tornaram possíveis graças ao advento de uma tecnologia que transformou os laboratórios de física e química: o vácuo. Nos laboratórios primitivos dos anos de 1895, o vácuo, tão importante para os progressos feitos nas pesquisas sobre o átomo, era criado por bombas primitivas e utilizado em experimentos que

envolviam descargas elétricas em gases, que resultaram nas identificações dos raios X e do elétron (SEGRÈ, 1987).

Entretanto, vale destacar que a física das radiações, bem como o fenômeno da radioatividade (e por consequência os estudos atômicos) não estavam entre os assuntos de maior destaque no final do século XIX e começo do século XX. De acordo com Segrè (1987), ainda que a química e a física fossem tidas como disciplinas irmã até aquele momento, os estudos que estavam sendo desenvolvidos diziam respeito a liquefação dos gases; a mensuração de calores específicos, ondas eletromagnéticas e os fenômenos de óptica, tal como a difração e a polarização. Ainda segundo Segrè (1987) existiam trabalhos com interesse menor, tais como dissociação iônica, conceito de íons em solução, e alguns pouco estudos relacionados a descargas elétricas em gases. Entretanto, nenhum cientista predispunha-se seriamente em elaborar modelos atômicos. Segundo o autor, os cientistas ainda não tinham adquirido pleno reconhecimento do átomo como estrutura fundamental na constituição da matéria.

Existia, segundo Segrè (1987), certo ceticismo por parte dos cientistas quanto a crença na realidade dos átomos. De acordo com o autor;

Entre os físicos, um dos mais notáveis céticos com relação à “hipótese” atômica foi Ernst Mach (1838-1916), que era também afamado de psicólogo. Na edição de 1906 de *The Analysis of Sensations*, Mach faz referências aos átomos e moléculas hipotéticos e artificiais da física e da química e, sem negar “o valor desses instrumentos para seus propósitos específicos e limitados”, comparou-os aos símbolos da álgebra. (SEGRÈ, 1987, p.7)

Há de se destacar, sobretudo, que outros cientistas desacreditavam do modelo atômico, tal como Max Planck que só passou a adotá-la quando se tornou essencial na fundamentação teórica de sua lei sobre radiação de corpo negro.

É importante destacarmos que alguns elementos, do ponto de vista conceitual, contribuíram significativamente para que os raios X fossem detectados por Röntgen em 1895. Segundo Martins (2012) o estudo daquilo que se conhece como raios catódicos tem seu princípio na metade do século XIX, mais especificamente em 1855, quando Heinrich Geissler desenvolveu um equipamento capaz de criar um vácuo em um tubo, permitindo o estudo de gases rarefeitos sob a ação de descargas elétricas.

Julius Plücker, em 1858, deu sequência nos estudos de Geissler. Segrè (1987) relata que Plücker teve a ideia de aproximar um ímã de um tubo de vácuo para observar o que aconteceria com a descarga elétrica. Ao realizar essa manobra, Plücker percebeu que a descarga sofria um desvio devido à presença do campo magnético do ímã. Posteriormente ele notou que

além do desvio era possível observar uma fosforescência verde no vidro, próximo ao cátodo e com o auxílio de um imã, conseguiu deslocar as manchas de fosforescência, assim como tinha feito com a descarga elétrica.

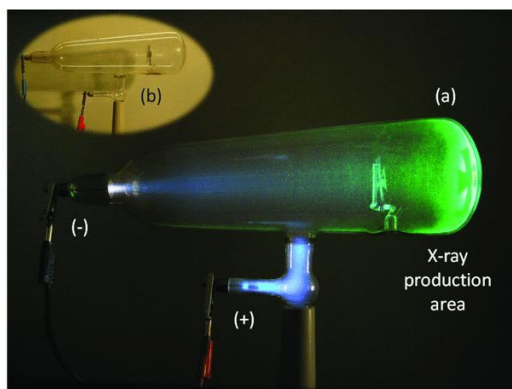
No ano seguinte, um aluno de Plücker, Johann Hittorf percebeu algo que seu professor não havia notado: a presença de uma sombra projetada de um objeto colocado em frente ao cátodo, o que segundo Segrè (1987) indicava claramente que a descarga se originava no próprio cátodo. Surge então, um novo fenômeno físico, considerado um predecessor que contribuiria significativamente para a derradeira compreensão dos raios X: os raios catódicos (em alemão, *Kathodestrahlen*), que segundo Martins (2012), foi batizado em 1876 pelo físico Eugen Goldstein.

Após a sua detecção, inúmeras perguntas foram feitas a propósito desse novo raio. Dentre elas, a mais pertinente foi: qual a natureza desses raios? Conforme descreve Segrè;

Alguns diziam que eram corpúsculos, partículas projetadas do cátodo; outros acreditavam tratar-se de ondas. Por estranho que possa parecer, as opiniões se dividiam segundo as nacionalidades. Em 1892, Hertz afirmou ter prova experimental de que os raios catódicos não poderiam ser partículas, logo, tinham que ser ondas. Gustav Heinrich Wiedemann (1826-1899), Goldstein e todos os físicos alemães concordavam. Mas na Inglaterra, Crookes insistia em que esses raios eram partículas carregadas eletricamente (Crookes chamou-os de “matéria radiante”) e alguns físicos ingleses – Kelvin, J.J Thomson, entre outros – insistiam em afirmar que eram “partículas” (1987, p.12).

Tal qual apresenta Martins (2012), aprendemos atualmente que os raios catódicos são simplesmente um fluxo de elétrons que se originam dentro de tubos cheios de gás rarefeito, também chamados tubos de Crookes (figura 01), ou seja, em harmonia com o que acreditavam os físicos ingleses. Essa confirmação só foi possível graças ao físico francês Jean Baptiste Perrin que em 1895, durante seu doutorado, demonstrou em um experimento que os raios catódicos eram partículas carregadas com cargas negativas.

Figura 01: Tubo de Crookes produzindo raios catódicos no escuro (a) e em ambiente iluminado (b).



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Crookes-tube-with-shadow-cross-in-use-X-rays-emerge-upon-impact-of-electrons-cathode_fig1_325342963

A luminescência esverdeada (raios catódicos) que aparece na parede do tubo de Crookes sempre aparece no lado oposto ao catodo. Alterando-se a posição do catodo e a do anodo, de todas as maneiras possíveis, os raios catódicos sempre aparecem em frente ao catodo. Assim, conclui-se que a luminescência é produzida por um feixe de partículas carregadas (elétrons, que só viriam a ser descobertos em 1897, por J.J Thomson) que sai do catodo, atravessa o tubo, e se choca com a parede de vidro. É inegável que a detecção do elétron foi importantíssima para os rumos que a ciência tomaria a partir do ano de 1897, bem como a relevância da determinação da constante carga-massa do elétron, determinada pela primeira vez em 1899. Entretanto, essas investigações acabaram sendo ofuscadas, de acordo com Segrè (1987), por uma outra, realizada no ano de 1895, feita por Wilhelm Röntgen ao anunciar um novo tipo de raio misterioso, o qual será tratado na próxima seção.

1.2. EXPERIMENTOS DA GÊNESE DA FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES E DA RADIOATIVIDADE

Ao longo dos últimos 40 anos do século XIX diversas observações, teorias e hipóteses apontavam que vários pesquisadores passaram próximos da detecção dos raios X. De acordo com Anderson (1964) Goldstein, em um artigo de 1880 relata que seria possível excitar uma tela fluorescente, ainda que estivesse protegida dos raios catódicos. O mais intrigante é que nos quinze anos seguintes, nenhum cientista questionou como tal fenômeno poderia ocorrer. Anderson (1964) destaca ainda que o artigo de Goldstein foi publicado em inglês e alemão, permitindo que os pesquisadores envolvidos nesses estudos pudessem ter conhecimento sobre sua determinação.

Além de Goldstein; Hertz, Thomson e Lenard também registraram os raios X antes de Röntgen, embora não tenham tido a clareza de interpretar tal fenômeno como um novo tipo de raio. Entre os três Phillip Lenard talvez tenha sido o que mais se aproximou da (futura) detecção de Röntgen. Conforme destaca Martins (2012), Heinrich Hertz, em 1892, foi o primeiro cientista a retratar a característica que os raios catódicos possuíam de penetrar folhas finas de metal, quando produzidas dentro de um tubo de Crookes. Dando continuidade ao trabalho de seu professor, Lenard conseguiu construir tubos de Crookes com uma pequena janela de alumínio (espessura de aproximadamente 0,0025 mm), o qual permitiu a observação dos raios catódicos fora do tubo e estudá-los no ar ou em outros gases. Posteriormente esses raios ficaram conhecidos como raios Lenard. Lenard publica, em 1894 na revista alemã *Annalen der Physik*, suas primeiras observações, entre as quais se destacam:

- 1- Os raios Lenard eram capazes de impressionar uma chapa fotográfica.
- 2- Um disco de alumínio possuindo cargas elétricas em sua superfície era descarregado quando colocado no trajeto desses raios, mesmo quando este disco era colocado a uma distância maior que oito centímetros, que era o alcance máximo dos raios catódicos no ar.
- 3- Os raios sofriam deflexão continuamente por um campo magnético; isto é, alguns raios eram defletidos mais do que outros, e existiam alguns que não se defletiam.

O mais plausível é que Lenard estivesse detectando os efeitos e a ação dos raios X; todavia o cientista assumiu que se tratasse somente de raios catódicos e dessa maneira não se preocupou em continuar a investigar esse fenômeno. Essa tarefa coube a outro cientista, Wilhelm Röntgen.

Wilhelm Conrad Röntgen nasceu em Lennep, Alemanha, em 27 de março de 1845. Enquanto físico foi considerado com um bom físico, tendo trabalhado com cientistas como Rudolf Julius Emanuel Clausius que atuava na área de termodinâmica e August Adolph Eduard Eberhard Kundt que estudava fenômenos acústicos. Apesar de Röntgen ter tido experiências anteriores nessas duas áreas, seus trabalhos estavam mais diretamente relacionados à eletricidade. De acordo com Segrè (1987), Röntgen provou no ano de 1888 que a corrente obtida por cargas em movimento era a mesma da corrente em um fio condutor; fato que o próprio autor destaca em sua obra, não ser tão óbvio para aquela época. Até aquele momento, Röntgen já havia escrito quarenta e oito trabalhos (todos esquecidos atualmente). Todavia o quadragésimo nono se tornaria o mais relevante de toda a sua vida. Na noite de sexta-feira, 8 de novembro de 1895, Röntgen trabalhava em seu laboratório com uma válvula de Hitorff (figura 02) revestida com uma cartolina negra, além é claro de não haver nenhuma luminosidade na sala.

Figura 02: Representação de uma válvula de Hitorff



Fonte: <https://teslaresearch.jimdofree.com/x-rays/>

Encontrava-se, mais adiante em relação à válvula, uma folha de papel, utilizada como anteparo, tratada com platinocianeto de bário. Tamanha foi a surpresa de Röntgen quando observou seu anteparo brilhando numa luminescência esverdeada, ainda mais porque uma cartolina negra cobria seu tubo de raios catódicos, então algo deveria estar atingindo seu anteparo. Conforme descreve Segrè;

Surpreso e perplexo com o fenômeno, Röntgen decidiu pesquisá-lo mais a fundo. Virou a tela de modo a que o lado sem platinocianeto de bário ficasse voltado para a válvula; mesmo assim, a tela continuava a brilhar. Ele então afastou a tela para mais longe da válvula e o brilho persistiu. Depois colocou diversos objetos entre a válvula e a tela e todos pareceram transparentes. Quando sua mão escorregou em frente a válvula ele viu ossos na tela. Descobriu um novo tipo de raio, conforme ele mesmo explicou em sua primeira publicação sobre o assunto. (1987, p.21)

No dia 1º de janeiro de 1896, Röntgen já estava encaminhando algumas dezenas de cópias dos seus resultados prévios, acompanhados de radiografias – incluindo a mais famosa delas, a mão de sua esposa (figura 03) – acerca do fenômeno que acabara de descobrir. De acordo com Martins (2012), não se sabe ao certo quantas pessoas receberam essa primeira leva de resultados, entretanto é notório o sucesso dessa tática, uma vez que seu trabalho rapidamente começou a ser lido e comentado em todas as comunidades científicas.

Figura 03- Radiografia da mão de Bertha Röntgen, feita em dezembro de 1895.



Fonte: Martins (2012, p.32)

Ao estudar as propriedades desse novo raio, Röntgen, segundo Kaplan (1962) notou que fluorescência diminuía (embora não se extinguisse enquanto houvesse radiação) quando se colocavam materiais opacos à luz entre o tubo de Crookes e o anteparo, demonstrando que os raios X podiam atravessar componentes que não permitem a passagem natural de luz visível. Ainda, segundo o autor, em investigações futuras Röntgen observou que os raios X podem sofrer reflexão, refração e difração, e consistiam em radiação eletromagnética, porém de comprimento de onda muito menor.

Como descreve Segrè (1987), Röntgen escreveu dois artigos a respeito dos raios X, após a sua investigação, em 1896 e 1897, para então se debruçar sobre seus velhos temas, deixando para os cientistas mais jovens e menos preocupados essa tarefa. Tamaña foi sua contribuição no campo das radiações que, no ano de 1901, Röntgen foi agraciado com o prêmio Nobel de física.

1.3. ASPECTOS CONCEITUAIS ACERCA DOS RAIOS X: CARACTERÍSTICAS E PRODUÇÃO

Os raios X são ondas eletromagnéticas de alta frequência que são produzidos quando os elétrons excitados de grande velocidade se chocam com um obstáculo sólido. De acordo com a teoria da eletrodinâmica clássica, uma partícula carregada em movimento emite radiação eletromagnética quando sofre uma aceleração; a detenção brusca de um elétron produz um impulso de radiação que toma a forma de um raio X. Na prática, os raios X são produzidos as

vezes em um tubo de raios catódicos com um gás de baixa pressão em que se é colocado um anticatodo metálico em frente ao catodo.

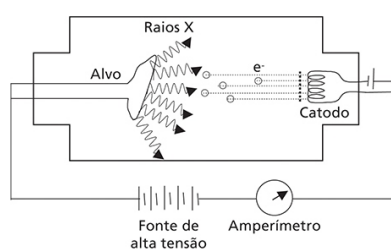
Uma das propriedades mais importantes dos raios X é ao seu forte poder de penetração. O poder de penetração dos raios X em uma substância depende da natureza fundamental na produção de raios X. Existem duas possibilidades: Em um deles, os raios X produzidos, chamados de **raios de freamento**, apresentam um espectro contínuo de energias, e no outro, chamados de **raios X característicos ou de fluorescência**, um espectro de linhas ou de raios, com energias bem definidas.

A produção de raios X pode ser compreendida do ponto de vista clássico, uma vez que relaciona conceitos da física clássica como colisões, conservação de energia, termodinâmica e eletrodinâmica. Além disso, a escolha do material que vai ser utilizado como alvo para a produção de raios X é importante, uma vez que os materiais devem possuir pontos de fusão elevados. De acordo com a Okuno (2010)

Em um tubo de raios X, a maioria dos elétrons incidentes sobre o alvo perde energia cinética de modo gradual nas inúmeras colisões, convertendo-a em calor. Essa é a razão pela qual o alvo deve ser constituído por um material de alto ponto de fusão, como o tungstênio (cujo ponto de fusão é de 3695 K) ou o molibdênio (cujo ponto de fusão é de 2896 K) (p. 77).

A figura 04 apresenta um esquema simplificado de um aparelho de produção de raios-X.

Figura 04: Diagrama simplificado de um tubo de raios-X



Fonte: Okuno (2010, p. 75)

A figura apresenta um esquema simplificado de um tubo emissor de raios X. O filamento, ao ser aquecido, emite elétrons que são acelerados pela diferença de potencial (V) entre os eletrodos (anodo e o catodo). Quando os elétrons atingem o alvo, que geralmente é produzido de metal de alto ponto de fusão, como o tungstênio ou molibdênio, produzem raios X. (OKUNO, 2010)

1.4. PRODUÇÃO DE RAIOS X: RAIOS X DE FREAMENTO E CARACTERÍSTICOS

Os raios X de freamento são produzidos quando uma pequena fração dos elétrons incidentes no alvo aproxima-se dos núcleos dos átomos, que constituem o alvo. Segundo Okuno (2010), os elétrons podem perder, de uma só vez, uma fração considerável de sua energia, emitindo um fóton de raio X. Essa desaceleração brusca pode ocorrer devido a atração causada pelo campo coulombiano do núcleo. Assim, o espectro de raios X de freamento é contínuo, ou seja, os fótons de raio X produzidos podem ter qualquer energia, desde valores próximos de zero até um valor máximo de $E_{\text{máx}}$, estimado a partir da equação (1). O valor de $E_{\text{máx}}$ representa toda a energia cinética (K) do elétron ao atingir o alvo.

$$K_{\text{(elétron)}} = eV = E_{\text{máx do fóton}} = h\nu_{\text{Max}} = hc/\lambda_{\text{min}} \quad (1)$$

O termo e corresponde a carga do elétron; V é a diferença de potencial aplicada entre o catodo e o anodo, ν e λ são, respectivamente, a frequência e o comprimento de onda radiação X. Essa equação é conhecida como lei de Duane e Hunt.

Além dos raios X de freamento, existem também os chamados raios X característicos que podem ser produzidos simultaneamente aos raios X de freamento em um tubo de raios X. Diferentemente dos raios X de freamento, que independem do material de que é feito o alvo e podem ter qualquer energia com limite no valor máximo, os raios X característicos apresentam uma assinatura do material do alvo e têm espectro de energia discreto (OKUNO, 2010). Segundo a autora, a produção de raios X característicos se dá da seguinte maneira:

Um fóton de energia na faixa de raio X é emitido quando as transições do elétron envolvem camadas mais internas do átomo. No primeiro caso, da emissão de um **fóton de luz**, a energia envolvida é da ordem de poucos eV, e no segundo, da emissão de um fóton de raio X, quando um elétron incidente no alvo remove um elétron da camada K, cria-se um buraco em seu lugar, que é imediatamente preenchido pela transição de um elétron da camada externa, por exemplo, da camada L, o qual, por sua vez, será preenchido por um elétron da camada M, e assim por diante (OKUNO, 2010, p.38).

Para remover um elétron da camada K de um átomo, o elétron incidente deve ter, no mínimo a energia de ligação nessa camada. Na transição de um elétron da camada L para a K, por exemplo, o excedente de energia é liberado na forma de um fóton, cuja energia $E_{\text{fóton}}$ (raio X)

corresponde à diferença entre E_L e E_K , que representam as energias totais dos elétrons em suas respectivas camadas, conforme expresso na equação (2).

$$E_{\text{fóton (raio X)}} = E_L - E_K \quad (2)$$

Não é somente nos tubos de raios X que a radiação característica pode ser produzida. Existe uma técnica chamada PIXE (*Particle Induced X Ray Emission*), que é uma técnica utilizada para caracterizar os elementos químicos de uma determinada amostra. Na PIXE, os átomos podem ser excitados por feixes de partículas carregadas pesadas, ou mesmo de fótons, e decaem com a emissão de fótons que compõem essas raias características. Nessas situações, no entanto, não há produção de raios X de freamento, e observa-se apenas o espectro característico dos átomos. De acordo com Santos et al., (2010) a técnica do PIXE possui uma capacidade de diferenciação de elementos químicos muito elevada, já que geralmente todos os elementos com número atômico superior a 11 podem ser detectados simultaneamente em uma única medição e sem nenhum conhecimento prévio dos elementos presentes na amostra.

Na próxima seção, apresentaremos os aspectos históricos e as pesquisas que precederam no trabalho de Becquerel e suas contribuições para o campo da radioatividade.

1.5. BECQUEREL E A “DESCOBERTA” DA RADIOATIVIDADE

Os anos seguintes a detecção de Röntgen contribuíram substancialmente para que a revolução científica iniciada no final do século XIX tivesse sequência. Henri Poincaré foi um dos cientistas que recebera diretamente de Röntgen os resultados de seus experimentos e ficou profundamente interessado por eles (MARTINS, 2012). Ainda que já tenhamos apresentado as propriedades físicas dos raios X, nesse momento da história elas ainda eram desconhecidas pelos cientistas. De acordo com Martins (2004)

As principais hipóteses aventadas sobre a natureza desses raios eram: (a) poderiam ser ondas eletromagnéticas transversais de pequeno comprimento de onda, semelhantes a radiação ultravioleta; (b) poderiam ser ondas eletromagnéticas longitudinais (hipótese proposta pelo próprio Röntgen); (c) poderiam ser pulsos periódicos de radiação eletromagnética (hipótese proposta por Stokes); (d) poderiam, enfim, ser de natureza corpuscular formados por raios catódicos modificados (neutros). (p. 504)

Ou seja, os cientistas, até aquele momento, conheciam o que observavam ao reproduzir o experimento de Röntgen, ou seja, que uma corrente elétrica ao atravessar um tubo de Crookes produzia na parede do tubo uma luminescência, exatamente na mesma região em que os raios X eram emitidos. Poincaré então levantou a hipótese que poderia então existir uma relação entre a emissão dos raios X e fluorescência observada no vidro (MARTINS, 2004). Essa hipótese passou a ser conhecida como “conjectura de Poincaré” e foi testada por diversos cientistas. Muito embora, segundo Martins (2004), essa conjectura estivesse errada do ponto de vista físico, uma vez que não existe relação direta entre a produção dos raios X e a luminescência detectada no vidro, essa conjectura possibilitou a investigação de outro fenômeno diretamente relacionado com a física das radiações: a radioatividade de certos elementos químicos (no caso, o urânio) por Henri Antoine Becquerel.

Henri Becquerel vinha de uma família de cientistas que possuíam grande interesse pelo estudo da fosforescência. Seu avô Antoine César Becquerel foi professor e diretor do *Musée d'Histoire Naturelle* de Paris, no qual fez diversas pesquisas sobre fosforescência. Edmond Becquerel, filho de Antoine, praticamente seguiu os mesmos passos do pai, lecionando no Musée. Enquanto pesquisador estudou a ação química da luz, além de trabalhos relacionados à fluorescência do urânio.

Conforme aponta Martins (2012), Henri Becquerel iniciou suas pesquisas no campo dos fenômenos ópticos, especialmente a fosforescência, dando continuidade aos interesses dos antepassados. A maioria das substâncias utilizadas por Becquerel eram compostos a base de urânio, considerados interessantes para pesquisas sobre luminescência por duas razões: havia muitas substâncias fosforescentes distintas que tinham urânio como seu elemento constituinte; e sua fluorescência era extraordinariamente forte. Ainda, segundo Martins (2012), o pai de Henri Becquerel havia estudado o nitrato, o cloreto, o fluoreto duplo de urânio e potássio, fosfato e o sulfato duplo de potássio, sendo esse último o composto utilizado nos estudos que culminariam no fenômeno da radioatividade. Com relação a essa constatação, Martins (2012) aponta que:

Na reunião da Academia de Ciências da semana seguinte (2 de março de 1896), Arsène d'Arsonval comunicou que havia sido capaz de produzir radiografias utilizando uma lâmpada fluorescente e colocando um vidro fluorescente sobre os objetos a serem radiografados. Esse vidro fluorescente continha um sal de urânio. A conclusão de d'Arsonval foi que todos os corpos que emitem luz fluorescente amarelo-esverdeada também emitem radiações que são capazes de impressionar chapas fotográficas envoltas em papel opaco à luz. (p. 107-108)

Naquele mesmo dia, o autor supracitado cita que Becquerel apresentou aos membros da Academia de Ciências um segundo trabalho – descrito por diversos autores como sendo o trabalho referente à compreensão do fenômeno da radioatividade. Segundo Becquerel, seu experimento tinha como finalidade observar os efeitos que a radiação solar teria sobre determinadas substâncias fosforescentes (nesse caso, um sulfato duplo de urânio e potássio) colocados junto às chapas fotográficas. Entretanto, nos dias que se passaram (26 e 27 de fevereiro de 1896) o Sol aparecia de maneira muito discreta, com o tempo estando praticamente nublado, fazendo com que Becquerel guardasse seu sulfato duplo junto com chapas fotográficas e seus envoltórios, dentro de uma gaveta. No dia 1 de março, cansado de esperar pela melhora do tempo, Becquerel resolveu revelar as chapas fotográficas, na esperança de encontrar imagens muito fracas. Tamanha foi a surpresa de Becquerel quando, ao revelar as chapas, percebeu que elas estavam perfeitamente nítidas. De acordo com Segrè (1987), Becquerel percebeu, naquele momento, que o sal de urânio emitia raios capazes de transpor o papel negro, mesmo que não estivesse sido exposto à luz solar.

1.6. MARIE E PIERRE CURIE: “DETECÇÃO” DE NOVOS ELEMENTOS RADIOATIVOS

Conforme apresenta Martins (2012), uma semana após a comunicação de Becquerel, Louis Troost confirmou os experimentos de Charles Henry com sulfeto de zinco, no qual relatou ter obtido fortes efeitos radiográficos a partir da fosforescência de uma placa excitada por luz de magnésio. Dessa maneira, a Academia de Ciências ratificou a conjectura proposta por Poincaré, possibilitando que anos depois que Becquerel, no ano de 1903 fosse laureado com o prêmio Nobel de física.

Entretanto, outros cientistas começaram a se debruçar sobre os experimentos de Becquerel com sais de urânio. Não que Becquerel tivesse abdicado de seus estudos, tal como fizera Röntgen com seus misteriosos raios X. Porém, conforme aponta Segrè (1987) “Mas restringiu-se ao urânio como fonte de seus raios, pois o urânio era a substância que ele melhor conhecia” (p. 30). O próximo grande passo seria dado pelo casal Pierre e Marie Curie, especialmente as contribuições de Marie.

Marie Skłodowska nasceu na Polônia, na cidade de Varsóvia, no dia 7 de novembro de 1867, era a terceira de quatro irmãos e perdeu cedo sua mãe, sendo criada e educada por seu pai, o qual era professor de matemática e física. Após a conclusão do secundário Marie e a irmã Bronya seguiram para Paris para prosseguirem seus estudos, onde teve a oportunidade de se

relacionar com grandes cientistas da época, mesmo passando por situações financeiras bastante complicadas. Nas palavras de Segrè;

Em Paris, Marie matriculou-se na Faculdade de Ciências e frequentou cursos de física, química e matemática com os professores Lippmann, Bouty e Appel, este o autor do famoso tratado *Mécanique Rationnelle* (sobre mecânica teórica). [...] Ela estudava e trabalhava com fanatismo, quase sem dinheiro e com muita pouca coisa para comer. (1987, p.33)

Conheceu, durante esse período, Pierre Curie, com o qual veio a se casar no ano de 1894. Nos primeiros anos do casamento de Pierre e Marie, a ciência começou a se modificar drasticamente. Röntgen havia descoberto os raios X, enquanto Becquerel explorava a natureza (ainda misteriosa) das radiações emitidas pelos compostos à base de urânio. Conforme aponta Strathern (2000), Marie acompanhava as investigações de Röntgen e Becquerel com demasiado interesse, discutindo-as permanentemente com Pierre. Como estava à procura de um tema para seu doutorado, resolveu que se tratava de um assunto interessante e buscou compreender os fenômenos por trás dessa nova radiação dos compostos de urânio.

Em dezembro de 1897, Marie iniciou seus trabalhos sobre a radiação emitida por sulfato de potássio uranilo, com a realização de uma réplica do experimento de Becquerel. Um ano depois, Gabriel Lippmann apresentou para a Academia de Ciências um trabalho de Marie Curie.

Nesse trabalho, Marie havia inspecionado um número significativo de compostos de urânio e definiu que todos eles emitiam radiações ionizantes, a qual era proporcional a quantidade de urânio presente na amostra (MARTINS, 2012). Além disso, Marie apresentou que outras substâncias, como o tório, também emitiam radiações ionizantes. Posteriormente Marie detectou dois novos elementos químicos que apresentavam radioatividade (termo cunhado por Marie para designar elementos químicos que emitiam radiação ionizante de maneira espontânea), tal como o tório e o urânio: o rádio e o polônio, esse último teve o nome dado em homenagem a terra natal de Marie, a Polônia.

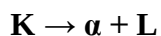
Em decorrência de suas contribuições Marie foi agraciada com dois prêmios Nobel. O primeiro, em 1903, em conjunto com Pierre Curie e com Henri Becquerel; posteriormente, no ano de 1911 voltaria a receber o Nobel, dessa vez em química, tornando-se a primeira e única pessoa a ser laureada com dois prêmios Nobel em duas áreas científicas distintas. Nesse sentido, a radioatividade conduziu a ciência para uma nova era de desenvolvimento de novas tecnologias, ao passo que também contribuiu para que despertasse certo receio na humanidade, tal como o risco de guerras atômicas.

1.7. O CONCEITO DE ELEMENTO QUÍMICO, ISÓTOPO, NUCLÍDEO E RADIONUCLÍDEO

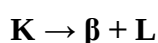
Um elemento químico é uma substância que não pode ser decomposta em algo mais simples por uma reação química. De maneira mais genérica, um elemento pode ser entendido como um conjunto de átomos caracterizado pelo número de prótons no núcleo, chamado de **número atômico (Z)**. Em química um elemento dito **puro** é aquele constituído exclusivamente pelos mesmos tipos de átomos.

Já um **nuclídeo** é um átomo caracterizado por um número atômico e um **número de massa (A)**, que é o número de prótons mais o número de nêutrons no núcleo. Os nuclídeos são representados da seguinte maneira: A_ZX sendo A o número de massa e Z o número de prótons que por sua vez é igual ao número de elétrons de um átomo neutro e X, o símbolo do elemento químico. A diferença $A - Z$ dá número de nêutrons de um núcleo.

Por sua vez, os **isótopos** são nuclídeos com igual número de prótons, porém com número diferente de nêutrons. Por exemplo, o hidrogênio tem três isótopos: o ${}^1\text{H}$, com um próton no núcleo, é o mais abundante na natureza (99,985%). O ${}^2\text{H}$, chamado de deutério, tem um próton e um nêutron no núcleo, e o ${}^3\text{H}$, denominado trítio ou trício, constituído por um próton e dois nêutrons. O trítio é radioativo, ou seja, seu núcleo é instável e atinge a estabilidade emitindo uma partícula β^- no processo de desintegração nuclear. Portanto, o trítio é considerado um radioisótopo, isto é, um nuclídeo instável que emite radiação. Sua **meia-vida** é de 12,26 anos. A meia-vida é o tempo em que metade dos átomos de uma fonte radioativa leva para desintegrar-se. A **desintegração** não está relacionada com a extinção do átomo, ou seja, o átomo não deixa de existir. Na prática, o que acontece é o decaimento natural do átomo. No decaimento, o átomo (K), ao emitir radiação alfa e beta, torna-se um novo elemento químico (L), o que ocorre ininterruptamente até que o átomo deixe de ser radioativo e passe a ser um átomo estável.



Ou



(3)

Se o átomo L formado após o decaimento ainda for instável, novos decaimentos ocorrerão até que a amostra se torne estável.

Os isótopos não podem ser separados quimicamente, uma vez que tem a mesma estrutura eletrônica e, por isso, sofrem as mesmas reações químicas. Por esse motivo, o urânio natural, para ser usado em um reator ou utilizado na fabricação de uma bomba atômica, deve ser enriquecido, isto é, ter a sua concentração de isótopos ^{235}U aumentada, uma vez que esse isótopo é físsil, ou seja, que seu núcleo possui capacidade de se romper em outros dois, liberando nêutrons (normalmente dois ou três) e energia quando captura um nêutron lento. Nesse processo, uma vasta dose de energia é liberada na condição de radiação devido à diferença de massa entre o núcleo original e o somatório das massas dos núcleos resultantes do decaimento radioativo.

1.8. DESINTEGRAÇÃO NUCLEAR

Diz-se que a **desintegração nuclear** ou o **decaimento radioativo** é o fenômeno físico em que há a *emissão espontânea* de partícula ou energia do interior de um núcleo atômico por meio da emissão de radiação a partir da instabilidade do núcleo. Existem os núcleos estáveis e instáveis. Os primeiros não decaem, ao contrário dos segundos que são radioativos. Um princípio importante envolvido na instabilidade do núcleo é o da conservação da energia. Nesse caso, leva-se em conta que a massa é equivalente à energia e que umas delas pode transformar-se em outra. Aplicando-se essa ideia à emissão de partículas alfa pelo núcleo do ^{242}Pu , podemos escrever o decaimento alfa como:



De acordo com Okuno (2010), o ^{242}Pu transmuta-se em ^{238}U e ocorre a emissão de uma partícula alfa. Dizemos também que o ^{242}Pu decai em ^{238}U , emitindo uma partícula alfa. Para esse decaimento ocorrer, a massa nuclear do Pu-242 deve exceder a soma das massas do núcleo do ^{238}U e da partícula alfa, isto é:

$$M_{\text{nuc}}(^{242}\text{Pu}) > M_{\text{nuc}}(^{238}\text{U}) + M_{\text{nuc}}(^4\alpha) \quad (5)$$

O excesso de energia se manifesta como energia cinética, principalmente da partícula alfa e, eventualmente, como energia de excitação do núcleo produzido a partir do decaimento. Em síntese, para que ocorra decaimento, a massa total antes deve ser maior do que a soma das massas após o decaimento. Um dado interessante é que todos os núcleos com número de massa

$A > 140$ satisfazem a equação anterior, entretanto existem muitos núcleos estáveis nessas condições. Isso acontece porque a condição dada anteriormente é necessária, mas não suficiente para ocorrer decaimento (OKUNO, 2010).

1.9. IRÈNE CURIE E FREDERIC JOLIOT: O FENÔMENO DA RADIOATIVIDADE ARTIFICIAL

Irene Curie, nascida em Paris, em 12 de setembro de 1897, era filha de Pierre e Marie Curie. Após iniciar seus estudos na Faculdade de Ciências de Paris, Irène serviu como voluntária durante a Primeira Guerra Mundial, auxiliando sua mãe na operacionalização de aparelhos de raios X e soldados franceses feridos em campos de batalha. Gilmer (2011) destaca que, no mesmo ano em que a primeira guerra eclodiu, Irène iniciou seus estudos na Universidade de Sorbonne, porém seus estudos foram interrompidos devido ao clima bélico na Europa. Ainda, segundo Gilmer (2011):

No mesmo ano, quando Irène estava apenas com 17 anos, ela começou a ajudar sua mãe a ensinar cirurgiões e médicos no campo de batalha como usar raios-X para encontrar balas e estilhaços nos soldados feridos, para ajudar em suas extrações. Com tanta necessidade desse tipo de serviço para os soldados franceses feridos, Marie Curie organizou 20 carros radiológicos, equipados com equipamento de raios-X. Irène e sua mãe treinaram outras mulheres para irem aos campos de batalha para ajudar os cirurgiões no local. [...] Irène refletiu mais tarde sobre a experiência: “Minha mãe não teve mais dúvidas sobre mim do que duvidou de si mesma” [...]. Durante esse período, Irène e Marie formaram uma verdadeira colaboração, muito parecida com a que Marie experimentou com seu marido Pierre. Sobre essa colaboração, Irène disse reflexivamente, anos depois: “[Eu sou] mais parecido com meu pai e, talvez, essa seja uma das razões pelas quais nos entendemos tão bem”. (p. 43)

Ao final da guerra, Irène trabalhou com a mãe no Instituto Radium, criado por Marie antes da grande guerra. Guilmer (2011) destaca que a composição do laboratório em que Marie trabalhara mudou ao longo dos anos pós-guerra, uma vez que a maioria das trabalhadoras eram mulheres, já que a maioria dos homens haviam morrido na guerra. Após uma viagem com a mãe e a irmã Eve, para os Estados Unidos, Irène regressa a Paris para continuar sua pesquisa de doutorado no Instituto Radium. Ela se tornou doutora em ciências em 1925, tendo preparado uma tese sobre os raios alfa do polônio. No ano seguinte, Irène casou-se com o também cientista, Frederic Joliot.

Nomeada professora em 1932, tornou-se professora na Faculdade de Ciências de Paris em 1937. Em 1936, Irène Joliot-Curie foi nomeada subsecretária de Estado para

pesquisa científica. Ela era membro de várias academias estrangeiras e de inúmeras sociedades científicas, possuía doutorado honorário em várias universidades e era oficial da Legião de Honra. Em 1946, tornou-se diretora do Instituto Radium em 1946.

Jean Frédéric Joliot, nascido em Paris, em 19 de março de 1900, formou-se na *École de Physique et Chimie* da cidade de Paris. Em 1925, tornou-se assistente de Marie Curie no *Institut Radium*. Já em 1930 ele obteve o título de Doutor em Ciências, com tese que versa sobre eletroquímica de elementos radioelétricos, e tornou-se professor de Faculdade de Ciências de Paris em 1935. Em 1937, foi nomeado professor no Collège de France (NOBELPRIZE.ORG, 1935).

Assim como Marie e Pierre, Irène e Frederic passaram suas vidas dedicando-se as pesquisas científicas. Em especial, eles estudaram as particularidades dos núcleos dos átomos, considerado um passo essencial na detecção do nêutron por James Chadwick em 1932 e do pósitron, por Carl David Anderson, também no mesmo ano, ficando muito próximos de serem laureados com o prêmio Nobel. Entretanto, o melhor ainda estava por vir em 1935 com o reconhecimento de todo trabalho por meio do prêmio Nobel, curiosamente na área na qual a mãe de Irène havia se consagrado anos antes: a radioatividade. Nesse caso, Irène e Frederic realizaram importantes estudos sobre radioatividade natural e artificial, transmutação de elementos e física nuclear (1934). Ela compartilhou com ele o Prêmio Nobel de Química de 1935, em reconhecimento à síntese de novos elementos radioativos. Por bombardeio de boro, alumínio e magnésio com partículas alfa, eles produziram o isótopo 13 do nitrogênio, o isótopo 30 do fósforo e, simultaneamente, os isótopos 27 do silício e 28 do alumínio. Esses elementos, não encontrados naturalmente, se decompõem espontaneamente, com um período mais ou menos longo, por emissão de elétrons positivos ou negativos (NOBELPRIZE.ORG, 1935).

Finalizada a exposição acerca das contribuições de Irène e Frederic que culminaram na compreensão da radioatividade artificial, abordarei na próxima seção as questões conceituais relacionadas ao processo de transmutação (tanto natural quanto artificial) dos elementos radioativos que são as leis do decaimento radioativo e da atividade de uma amostra radioativa.

1.10. LEI FUNDAMENTAL DO DECAIMENTO RADIOATIVO

Segundo Okuno (2010), Ernest Rutherford e Frederick Soddy escreveram em 1902 um importante artigo, *The cause and nature of radioactivity*, no qual apresentaram a lei fundamental do decaimento radioativo, expressa na equação:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (6)$$

Na qual N_0 é o número de átomos inicialmente presentes (no instante $t = 0$); $N(t)$, o número de átomos que ainda não se desintegram após um intervalo de tempo t , e , é a base dos logaritmos naturais e λ , a constante de decaimento, que é característica de cada radionuclídeo.

Okuno (ibidem) relata que no ano de 1905 a lei do decaimento radioativo foi deduzida por Ergon von Schweidller, o qual, a partir de ponderações estatísticas, constatou que se o número de radionuclídeos independentes no tempo t for N , ao tomarmos que cada partícula tem a mesma constante de probabilidade λ de decair por unidade de tempo, independentemente da sua idade, então o número dN decaindo no tempo dt é:

$$dN = -\lambda N(t)dt \quad (7)$$

O sinal negativo indica que N decresce com o aumento de t . Reescrevendo a equação (7), temos:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt \quad (8)$$

Ao integrarmos a equação (8):

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt \quad (9)$$

Obtemos então:

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda t \quad (10)$$

Ou ainda, $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ que é a mesma equação (equação (6)) obtida por Rutherford e Soddy. Uma vez que a meia-vida física $T_{1/2}$ é o tempo necessário para metade de uma amostra de átomos de um radionuclídeo decair para outra forma nuclear, podemos encontrar uma relação entre $T_{1/2}$ e λ :

$$t = T_{1/2} \rightarrow N = \frac{N_0}{2} \quad (11)$$

Substituindo esses valores na equação (6), temos:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 \exp(-\lambda T_{1/2}) \quad (12)$$

Que resulta em:

$$\ln 2 = \lambda T_{1/2}, \quad \text{de onde} \quad \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0,693}{T_{1/2}} \quad (13)$$

Assim, a equação (6) pode ser escrita como:

$$N = \frac{N_0}{e^{\lambda t}} = \frac{N_0}{e^{\frac{0,693 t}{T_{1/2}}}} = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T_{1/2}}}} \quad (14)$$

1.11. ATIVIDADE DE UMA AMOSTRA RADIOATIVA

Para finalizarmos esse capítulo teórico-conceitual, descrevemos a taxa de decaimento (também denominada por **atividade**) de uma amostra radioativa que é o número de transformações nucleares por unidade de tempo que ocorrem na amostra. Essas transformações

podem envolver a emissão de partículas carregadas, captura de elétrons ou transição isomérica e pode ser estimada pela equação:

$$A = \lambda N = \left| \frac{dN}{dt} \right| = N_0 \lambda \exp(-\lambda t) = A_0 \exp(-\lambda t) \quad (15)$$

Em que $A_0 = N_0 \lambda$ e $A = N \lambda$ são as atividades da amostra no instante inicial e no instante t , respectivamente. É importante observar que tanto o número de átomos de uma amostra radioativa quanto a atividade diminuem exponencialmente com o tempo:

$$A = \frac{A_0}{e^{\lambda t}} = \frac{A_0}{e^{\frac{0,693 t}{T_{1/2}}}} = \frac{A_0}{2^{\frac{t}{T_{1/2}}}} \quad (16)$$

A unidade de atividade no Sistema Internacional (SI) é o becquerel (Bq), o qual corresponde a uma desintegração por segundo.

Cabe destacar que nosso foco foi direcionado à Física dos Raios X, a interação da radiação com a matéria e aos processos de fissão e fusão nuclear. Entendo que são conceitos relevantes e que necessitam de uma atenção para a formação inicial do futuro professor de Física. Embora sendo um conteúdo presente nos documentos educacionais, como na BNCC e no Currículo Paulista, o ensino da FRI e do fenômeno da Radioatividade, em geral, é deixado em segundo plano, em comparação com outros tópicos curriculares, durante a graduação.

Por fim, argumentamos sobre a necessidade da inserção da FRI nos currículos dos cursos de formação de professores, tendo em vista a ausência deste tópico como mostraremos mais adiante, com o intuito de assegurarmos um ensino de física com qualidade, visando evitar a perpetuação de conceitos equivocados, tanto por parte de professores, quanto por parte dos alunos.

Após descrever a base teórico-conceitual da FRI, apresento, no próximo capítulo, um levantamento bibliográfico das produções acadêmicas realizado até o ano de 2020 que versa sobre o ensino da FRI e realizo um estudo comparativo quanto aos tópicos relacionados à temática em questão nas coleções didáticas de física do triênio 2018-2020.

CAPÍTULO 2. OS CONTEÚDOS DA FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES E DA RADIOATIVIDADE ABORDADOS NO PROGRAMA NACIONAL DO LIVRO E DO MATERIAL DIDÁTICO (2018-2020) E NAS PRODUÇÕES ACADÊMICAS EM ENSINO DE CIÊNCIAS.

A FRI é um tópico da Física ainda pouco discutido na educação básica. Produções como as de Eijkelhof (1990), Colclough et al. (2011), Pilakouta, Savidou e Vasileiadou (2017), Pizzolato e Adorno (2020) entre outros, tem mostrado a importância de se trabalhar conceitos da Física das Radiações Ionizantes durante a educação regular de crianças e adolescentes. Eijkelhof (1990), por exemplo, aponta que os riscos associados à radiação ionizante aparecem com muita frequência no mundo cotidiano, principalmente relacionadas a reportagens da mídia, fortemente associada a questões de riscos e segurança, tornando-se um tema cercado por controvérsia e debate público.

Por sua vez, Colclough *et al.* (2014) apresentam que o conhecimento que os mais jovens possuem acerca da radiação ionizante e da radioatividade está geralmente atrelado à educação informal, por meio de dispositivos associados à veiculação de reportagens ou de programas científicos, além é claro do conhecimento adquirido por meio da educação formal.

Já Pilakouta, Savidou e Vasileiadou (2017) citam que o uso difundido da radioatividade na indústria, medicina e outros aspectos da vida moderna deveria ter elevado o ensino da radiação ionizante e da radioatividade a um aspecto mais relevante no currículo educacional, com destacando que é dada apenas uma introdução muito básica no Ensino Médio acerca desses tópicos. Além disso, a FRI e a radioatividade são assuntos frequentemente apresentados por pessoas não especializadas ou com pouca formação sobre o assunto, o que pode deixar os alunos com uma compreensão limitada e desordenada sobre o assunto.

Por fim, Pizzolato e Adorno (2020) mostram que os alunos, em geral, possuem a ideia antiquada da radioatividade como algo ruim, emitido por materiais perigosos, principalmente seus efeitos em armas militares. Os autores destacam o emprego da radioatividade em muitos contextos positivos, como no campo da medicina nuclear, tanto para diagnóstico quanto para terapia. De acordo com Pilakouta, Savidou e Vasileiadou (2017), cientistas e educadores observam preocupações semelhantes em outros países e defendem o desenvolvimento de diferentes abordagens educacionais com o objetivo de melhorar a compreensão dos alunos sobre as questões de radioatividade e da FRI.

No Brasil, produções como as de Ribeiro Junior (2007); Costa et al., (2011); Aquino e Chiaro (2013); Jesus, Silva, Oliveira (2016) e Lucena et al. (2017) tratam da percepção dos

estudantes do ensino básico quanto as questões relacionadas às usinas nucleares no que diz respeito aos aspectos positivos da utilização dessa matriz energética, assim como buscaram abandonar o discurso tradicional dos riscos envolvidos a partir da geração de eletricidade desse tipo de usina. Em todas as produções, grande parte dos estudantes apresentaram desconhecimento quanto ao fenômeno da radioatividade, havendo confusão ao tentarem discernir os conceitos relacionados ao fenômeno.

Baseados nessa necessidade de maior compreensão dos alunos acerca dos conceitos relacionados ao tópico supracitado anteriormente, entendemos, a partir do trabalho de Pizzolato e Adorno (2020), que um caminho para que esse processo de transformação seja viável é o da alfabetização científica, que deve apoiá-los em seu desenvolvimento de conhecimentos específicos, bem como nas competências para a utilização de ferramentas matemáticas, científicas e tecnológicas, com a finalidade de resolver os problemas do cotidiano e a possibilidade de desenvolvimento da mentalidade para a aprendizagem ao longo da vida. Ademais, Sasseron e Carvalho (2011, p.61) apontam que a alfabetização científica “[...] deve desenvolver em uma pessoa qualquer a capacidade de organizar seu pensamento de maneira lógica, além de auxiliar na construção de uma consciência mais crítica em relação ao mundo que a cerca.”

No presente capítulo, traçamos como objetivo verificar quais conteúdos relacionados à FRI e ao fenômeno da Radioatividade são apresentados pelos autores em Coleções Didáticas de Física destinadas ao Ensino Médio, pertencentes ao Programa Nacional do Livro Didático (doravante PNLD) pertencentes ao triênio 2018-2020 do governo federal, bem como se esses conteúdos são objetos de pesquisas desenvolvidas na área de Ensino de Física na última década e, se por acaso, existe uma convergência de tópicos relacionados aos fenômenos mencionados.

Consideramos importante compreender como os livros didáticos abordam os fenômenos de FRI e da radioatividade. Entendo que se faz necessária essa identificação uma vez que o livro didático se constitui como um material didático utilizado principalmente por professores em exercício da rede pública. Ressalto a importância do livro didático na formação dos estudantes da educação básica, em concordância com as produções de Choppin (2004); Moraes (2011); Garcia (2012); Zambon e Terrazzan (2013); Lima, Ostermann e Cavalcanti (2017), e Schivani, Souza e Lira (2020). Lima, Ostermann e Cavalcanti (2017) ressaltam que o papel que o livro didático desempenha é essencial no contexto do Ensino Básico, tendo em vista que boa parte dos professores de Física não é formada em Física. Já Zambon e Terrazzan (2013), destacam que os aspectos que mais evidenciam a importância dos estudos acerca do PNLD são os seguintes:

1) a amplitude que os programas de material didático assumem na atualidade no Brasil, tornando o nosso País o maior comprador de livros didáticos do mundo; 2) a consolidação do PNLD como política de Estado (e não de governo), estabelecendo um mecanismo próprio de escolha dos livros pelos professores; 3) a presença de livros didáticos no cotidiano das escolas e das salas de aula do País, reafirmada a partir da consolidação do PNLD, de uma forma mais efetiva e intensa e com perspectivas de melhor utilização. (2013, p.587)

Arelado ao objetivo anterior, considero apropriado verificar se os livros didáticos estão em consonância com as produções acadêmicas da área de ensino de ciências, no intervalo de tempo correspondente à última década (2011-2020), a fim de constatar como os conteúdos de FRI poderiam ser pensados para o ensino.

Para tanto, analisei as coleções didáticas de física recomendadas pelo PNLD, do triênio 2018-2020, conforme apresentado no quadro 01.

Quadro 01: Coleções PNLD (2018-2020) que apresentam conteúdos de FRI.

Editora	Título	Nomenclatura	Páginas
Editora FTD S.A	Física: Eletromagnetismo – Física Moderna	CD – 01	195; 239-261
Editora FTD S.A	Física aula por aula: Eletromagnetismo	CD – 02	192-195; 230-240
Edições SM LTDA	Ser protagonista Física 3	CD – 03	163-167; 173, 182, 183, 228-238
Saraiva Educação LTDA	Física para o Ensino Médio 3 – Eletricidade, Física Moderna – Volume 3	CD – 04	262; 265-282
Editora Moderna S.A	Eletromagnetismo, Física Moderna	CD – 05	134-139; 159-162; 176; 177 232; 233; 234-248
Editora do Brasil S.A	Física em contextos 3	CD – 06	226-244
Editora Ática S.A	Física – Eletromagnetismo – Física Moderna – Volume 3	CD – 07	175-179; 219-250
Editora Ática S.A	Compreendendo a Física – Eletromagnetismo e Física Moderna	CD – 08	242-245
Editora Leya	Física 3: Interação e Tecnologia	CD – 09	169; 198-200

Fonte: Próprio autor

A identificação foi realizada mediante a leitura integral dos textos que compõem os volumes. Ressalto que, das doze coleções aprovadas no PNLD (2018-2020), três não apresentaram nenhum conteúdo acerca da FRI e da radioatividade. Cabe destacar que a coleção assinada por Bonjorno e colaboradores é uma das três supracitadas. Tal informação se mostra importante, já que, de acordo com a produção de Schivani, Souza e Lira (2020), o livro mais escolhido pelas escolas públicas nesse período foi a coleção assinada por Bonjorno e colaboradores.

Em seguida, identifiquei os conteúdos abordados e sistematizei em quinze tópicos diferentes, sendo dispostos em ordem dos que mais foram citados até os tópicos menos citados (quadro 02). Essa classificação permitiu verificar quais conteúdos são mais privilegiados pelos autores em relação aos conceitos da temática selecionada, além de possibilitar uma comparação acerca do que essas coleções se propõem a discutir nesse campo da física.

Quadro 02: Conteúdos e quantitativos encontrados nas coleções do PNLD: 2018-2020

Assunto	Quantitativo
Radioatividade	9
Fusão e Fissão Nuclear	9
Energia nuclear/Lixo atômico	9
Radiação alfa	9
Radiação gama	8
Radiação beta	7
Aplicação das radiações ionizantes	7
Meia-vida	7
Efeitos biológicos	4
Acidentes nucleares	3
Transmutação artificial	2
Radioisótopo	2
Equipamentos de detecção	2

Fonte: Próprio autor

Identifiquei que alguns assuntos são mais reincidentes que outros nas coleções, tais como: *radioatividade*, *fissão nuclear*, *fusão nuclear*, *energia nuclear/lixo atômico* (nove coleções); assim como *raios gama e raios X* (oito coleções) e *radiação alfa*, *radiação beta*, *meia-vida* e *aplicação das radiações ionizantes* (sete coleções).

Por outro lado, outros assuntos relativos FRI e radioatividade são pouco explorados pelos autores das coleções didáticas que compõe o PNLD, no caso da *transmutação*, *radioisótopo*, *equipamentos de detecção* (duas coleções); bem como os *acidentes nucleares* (três coleções) e os *efeitos biológicos causados nos seres vivos* (quatro coleções).

Além das coleções do PNLD, realizei um levantamento em trabalhos publicados acerca da temática. Nesse levantamento, foram identificadas produções acadêmicas da área de Ensino de Ciências relacionadas ao tópico de FRI e da radioatividade. Para essa pesquisa, utilizei as seguintes palavras-chave para selecionar trabalhos que estivessem dentro do escopo do nosso estudo (ensino da FRI): **Radioatividade; Radiação; Física Nuclear; Decaimento Radioativo e Usinas de Energia Nuclear.**

A partir desse levantamento e consequentemente, da classificação desses trabalhos, optei por analisar somente aqueles que tratavam da elaboração e aplicação de propostas de

ensino e recursos didáticos para o ensino da FRI. Destaco que selecionei somente as publicações da última década, prazo compreendido dentro do projeto de doutorado aprovado pelo programa de Pós-graduação em Educação em Ciências da Unesp, unidade de Bauru, conforme consta no Anexo I. Verifiquei a existência de 34 produções consideradas pertinentes ao meu trabalho, as quais se encontravam classificadas no levantamento realizado na dissertação de mestrado de Gombrade (2018), em que se enquadravam na categoria *elaboração e aplicação de propostas de ensino e recursos didáticos para o ensino da Física das Radiações Ionizantes*. Após analisar esses trabalhos, elaborei o quadro 03, no qual estão dispostos o título das produções, nome dos autores, ano, a natureza da produção (tese de doutorado, dissertação de mestrado, trabalho apresentado em simpósio, periódico, etc.) e os respectivos conteúdos abordados.

Quadro 03: Produções relacionadas às propostas de ensino e recursos didáticos para o ensino da Física das Radiações Ionizantes.

Título	Nome dos autores	Ano	Natureza da produção	Assuntos abordados
A perspectiva do estudante da escola SESC de Ensino Médio	SOUZA et al.	2019	Artigo de periódico	• Energia nuclear
Uma sequência didática para o ensino de física nuclear no ensino médio	Renan Schetino de Souza	2018	Dissertação de mestrado	• Núcleo atômico • Estabilidade nuclear • Instabilidade nuclear • Aplicação da radioatividade • Fissão nuclear • Fusão nuclear
Física das radiações: um enfoque CTS para alunos do ensino médio da área industrial	Suelen Pestana Cardoso	2017	Dissertação de mestrado	• Desintegração radioativa • Radiação α • Radiação β • Radiação γ • Séries radioativas • Transformações nucleares • Proteção radiológica • Efeitos de interação da radiação com a matéria • Gamagrafia
Radiação ionizante, energia nuclear e proteção radiológica para a escola	E. A. Lucena; R. G. Reis; A. S. Pinho; J. W. S. Silva; A. S. Alves; M. A. P. Rio; G. A. de Paula; M. A. Gonçalves Jr.; A. A. Reis	2017	Artigo em periódico	• Aplicação das Radiações ionizante • Energia nuclear • Proteção radiológica
Análise e desenvolvimento de simuladores na física das radiações	Ariadne Nascimento Matos, Hebert Costa Vaz Santana, Thiago Nascimento Barbosa	2017	Trabalho de congresso (SNEF)	• Decaimento radioativo • Tempo de meia-vida • Fissão nuclear • Fusão nuclear

A construção de uma sequência sobre física nuclear baseada na perspectiva CTS e no uso do RPG	Nicolau Gonçalves Borsato, João Paulo Fernandes	2017	Trabalho de congresso (SNEF)	• Aplicação da radioatividade • Produção de energia nuclear • Fissão nuclear • Reação em cadeia • Acidentes nucleares • Lixo atômico
Energia nuclear: benefícios ou malefícios? Percepção de alunos do ensino médio	Guilherme S. Jesus; Eduardo A. Silva; Icimone B. Oliveira	2016	Trabalho de congresso (ENEQ)	• Energia nuclear
Radiações Ionizantes e radiações não-ionizantes no ensino médio	Graciela Sasso Fiuza	2016	Dissertação de mestrado	• Aplicação das radiações ionizantes • Usinas nucleares • Acidentes nucleares
A produção de sentidos sobre a bomba atômica em diferentes tipos de discursos	Érica Talita Brugliato	2016	Dissertação de mestrado	• Bomba atômica
Ensino de matéria e radiação no ensino médio com o auxílio de simuladores interativos	Antônio Augusto Soares	2015	Artigo de periódico	• Conceito de meia-vida • Fissão nuclear
Análise da percepção dos alunos do terceiro ano do ensino médio do acidente de Goiânia com o cézio 137	Márcio Lima da Silva	2015	Trabalho de congresso (SNEF)	• Radiação β • Radiação γ • Meia-vida • Acidente radiológico
O ensino da radioatividade e física nuclear com o uso de simuladores	Letícia Estevão Moraes, Franciêl Gonçalves de Oliveira, Antonio Augusto Soares	2015	Trabalho de congresso (SNEF)	• Meia-vida • Reação em cadeia • Energia nuclear • Fissão nuclear
Física moderna e contemporânea no ensino médio: subsídios teórico-metodológicos para a sobrevivência do tópico radioatividade em ambientes reais de sala de aula	Carlos Alexandre dos Santos Batista	2015	Dissertação de mestrado	• Decaimento radioativo • Transmutação
Concepções de estudantes do ensino médio sobre Radioatividade	Jeane Pereira dos Santos, Luciana Passos Sá, Jéssica Goes Ramos Pinto, Luhyris Nascimento Costa Silva, Vivaldo Ferreira de Souza Neto, Christian Ricardo Silva Passos	2015	Trabalho de congresso (ENPEC)	• Energia nuclear • Acidentes nucleares • Aplicação da radioatividade
Heróis e vilões: as mídias de ficção científica no ensino de radiações	Izabel Christina Torres Cavalcanti de Albuquerque; Mariana Brasil Ramos	2015	Trabalho de congresso (ENPEC)	• Raios X • Acidentes nucleares
O estudo das Representações Sociais de estudantes do ensino médio acerca do tema radiação	Lisiane Barcellos Calheiro; José Claudio Del Pino.	2015	Trabalho de congresso (ENPEC)	• Radiação e suas interações • Energia nuclear • Raios X

A física das radiações em sala de aula: do projeto à prática	Alexandre Marcelo Pereira.	2014	Dissertação de mestrado	• Equipamento de detecção
O desastre nuclear de Fukushima e os seus impactos no enquadramento midiático das tecnologias de fissão e fusão nuclear.	Luísa Schmidt; Ana Horta; Sergio Pereira.	2014	Artigo de periódico	• Acidente nuclear; • Fusão Nuclear; • Fissão Nuclear; • Energia Nuclear
Uma sequência didática para o ensino da radioatividade no nível médio, com enfoque na história e filosofia da ciência e no movimento CTS	Silvia Oliveira Resqueti	2013	Tese de doutorado	• Efeitos, riscos e benefícios da radiação nuclear • Acidentes nucleares
A radioatividade na visão dos alunos de um curso de licenciatura em ciências da natureza	Tiago Velho Bez; Wesley Alexandre; Samuel Costa.	2013	Trabalho de congresso (2º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense)	• Radioatividade • Raios X
Uso de Mapas Conceituais: percepções sobre a construção de conhecimentos de estudantes do ensino médio a respeito do tema radioatividade	Kátia Aparecida da Silva Aquino; Sylvia De Chiaro.	2013	Artigo de periódico	• Radioatividade • Acidentes nucleares
Radioatividade: um módulo didático para o ensino médio	Rovandro Spencer Dias	2013	Dissertação de mestrado	• Radiação α • Radiação β • Radiação γ • Meia-vida
O ensino de física das radiações em ambientes hospitalares: avaliação das concepções sobre raios x com enfoque na prevenção e tecnologia	Renata Matos da Luz	2013	Dissertação de mestrado	• Raios X
Produção de energia elétrica através de usinas termonucleares e hidrelétricas: relato de uma atividade envolvendo aulas contextualizadas de física	Lúcio José da Motta, Geovan Vieira Cardoso, Cristina Cândida de Macedo	2013	Trabalho de congresso (SNEF)	• Fissão nuclear • Acidentes nucleares
Uma proposta para sala de aula sobre a física nuclear e a física de partículas	Henrique Santos Shiino, Graciella Watanabe, Cleide Matheus Rizzatto, Giselle Watanabe Caramello	2013	Trabalho de congresso (SNEF)	• Acidentes nucleares • Energia nuclear • Fissão nuclear • Fusão nuclear • Transmutação • Radiação α • Radiação β • Radiação γ
Energia nuclear mediante o enfoque ciência, tecnologia e sociedade na formação inicial de professores de física	Thirza Pavan Sorpreso	2013	Tese de doutorado	• Energia nuclear
Percepção Pública da Energia Nuclear e estratégias para uma nova comunicação	Nilton de Araújo Monteiro	2013	Dissertação de mestrado	• Energia nuclear

Matéria e radiação: articulação entre física e saúde na perspectiva de uma prática docente reflexiva	Darla Fortunato	2012	Dissertação de mestrado	• Aplicação das radiações ionizantes
Ensino de Radiações Ionizantes por meio de produção de vídeos por alunos da 3ª Série do Ensino Médio	Ronaldo Conceição da Silva	2012	Dissertação de mestrado	• Acidentes nucleares
Radioatividade na concepção de estudantes de Angra dos Reis: um estudo investigativo	Thiago Rodrigues de Sá Alves; Jônatas Vicente Milato; Jeosafá de Paula Lima; Jorge Cardoso Messeder	2012	Artigo de periódico	• Acidentes nucleares
Utilização de recursos audiovisuais em uma estratégia flexquest sobre radioatividade	Flávia Cristina Gomes Catunda de Vasconcelos; Marcelo Brito Carneiro Leão	2012	Artigo de periódico	• Aplicação das radiações • Efeitos biológicos das radiações • Acidentes nucleares
Percepção Pública das instalações nucleares	Felipe de Moura Kiipper	2011	Dissertação de Mestrado	• Energia nuclear
O ensino de física a partir do estudo da ultrassonografia, da produção e interação da radiação com o corpo humano: uma abordagem contextualizada	Mara Fernanda Parisoto; José Tullio Moro	2011	Trabalho de congresso (SNEF)	• Interação da radiação ionizante com a matéria • Radiação α • Radiação β • Radiação γ
A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e o Ensino de Radioatividade	Guilherme Luiz Scheffler	2011	Artigo de periódico	• Radiação α • Radiação β • Radiação γ • Radiação artificial • Fissão nuclear • Fusão nuclear • Radioisótopos • Meia-vida • Aplicação das radiações • Equipamentos de detecção • Efeitos biológicos
Percepção dos Estudantes do Ensino Médio da Rede Pública de Salvador, Bahia sobre Energia Nuclear	Igor Gomes da Costa; Jorge Lúcio Rodrigues das Dores; Rejane Maria Lira-da-Silva	2011	Trabalho de congresso (ENPEC)	• Energia nuclear
Percepção de estudantes do ensino médio sobre o tema “radiação” e tecnologias relacionadas: ideias informais e categorias conceituais	Patrícia Maria Barragán Fratzezi Dutra	2010	Dissertação de mestrado	• Energia nuclear • Aplicação das radiações

Fonte: Próprio autor

Constatei que os conceitos mais recorrentes nas produções acadêmicas foram acidentes nucleares (doze vezes); energia nuclear (onze vezes); aplicações da radiação/radioatividade (nove vezes); fissão nuclear (nove vezes); tipos de radiação (seis vezes); meia-vida (cinco vezes); fusão nuclear (cinco vezes).

Identifiquei que os assuntos, *fissão nuclear, meia-vida, tipos de radiação ionizante e aplicação da física das radiações ionizantes/radioatividade* são aqueles com maior citação nas duas maneiras de divulgação/promoção do saber.

Da mesma maneira, verifiquei que alguns assuntos são citados mais em um dos meios. Por exemplo, o tópico de fusão nuclear é mencionado em oito coleções didáticas. Já nas produções acadêmicas o assunto é indicado apenas em quatro ocasiões. O mesmo acontece quando o assunto é “*acidentes nucleares*”. Ao analisar as produções acadêmicas, notei que em dez oportunidades o assunto foi mencionado, enquanto nas coleções didáticas esse mesmo assunto é indicado apenas em três coleções. Além disso, alguns assuntos são pouco referenciados ou nem chegam a ser citados em ambos os casos, como *transmutação, aparelhos de detecção, efeitos biológicos da radiação* e o conceito de *radioisótopo*.

Finalmente, destaco que a coleção mais vendida nesse triênio de 2018-2020 não contempla qualquer fenômeno relacionado a FRI e da radioatividade. Tal verificação causa certa preocupação, pois como apontam Basso e Terrazzan (2015);

O livro didático é um produto importante no cenário da educação brasileira pelo papel que desempenha na divulgação dos saberes socialmente legitimados das diferentes áreas de conhecimento, na organização da atividade docente, nos interesses econômicos envolvidos em sua produção e comercialização e nos investimentos do Estado em políticas de materiais didáticos. (p.258)

Nossa preocupação se faz presente uma vez que, como mencionado acima, o Estado investe na produção e comercialização desses materiais por meio de recursos públicos. Entretanto, esse mesmo Estado instituiu, a partir de 2017, a Base Nacional Comum Curricular (doravante BNCC), um documento curricular cujo papel é orientar um conjunto de competências e habilidades, as quais os estudantes da educação básica devem ser submetidos. Nesse documento, para o Ensino Médio, as disciplinas de ciências estão contidas na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, organizadas em três unidades temáticas: Matéria e Energia, Vida e Evolução e Terra e Universo. Assim, entendemos que existe uma contradição entre uma coleção didática, aprovada pelo Ministério da Educação não contemplar fenômenos que estão diretamente relacionados a um documento formativo aprovado e instituído pelo próprio Ministério da Educação.

Ademais, as análises das coleções didáticas e das produções acadêmicas permite inferir que elas, de modo geral, desconsideram alguns aspectos da FRI e radioatividade, uma vez que determinados assuntos sequer são mencionados, tais como *transmutação, aparelhos de detecção, efeitos biológicos da radiação* e o conceito de *radioisótopo*.

No próximo capítulo discorrerei sobre a presença da FRI e da radioatividade nos cursos de Física Licenciatura da Unesp, com o objetivo de mapear as maneiras pelas quais esse assunto é inserido no currículo da formação de professores de física da universidade foco de meu estudo.

CAPÍTULO 3. A CONSTRUÇÃO DO CURRÍCULO DA FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES NOS CURSOS DE FÍSICA DA UNESP

A Física das Radiações Ionizantes estão, assim como outros tópicos de física, entre os conteúdos considerados complicados e de difícil compreensão, com manifestações orais equivocadas sobre o assunto. Durante a Educação Básica, conceitos como radiações e radioatividade raramente são apresentados e quando isso ocorre é de maneira equivocada (BARRAGAN, MORTEMER, LEAL, 2009; DUTRA, 2010; COSTA et al., 2011; BEZ, ALEXANDRE, COSTA, 2013; SANTOS et al. 2015; SOUZA et al, 2019).

Embora seja um conteúdo previsto nos currículos escolares, nota-se, no entanto, que ele não tem sido um item prioritário na prática pedagógica, não só no Brasil, mas também em diversos outros países, tais como Portugal, Reino Unido, Alemanha e Áustria. Vários trabalhos foram desenvolvidos na perspectiva de inserção da Física das Radiações no Ensino Básico como os de Plotz e Hopf (2016), Neumann e Hopf (2012); Rego e Peralta (2006); Alsop (2001); Eijkelhof e Millar (1998) Nunes e Zylbersztain (1990). Esses trabalhos, no entanto, estão alicerçados em uma produção antecessora, escrita por Eijkelhof (1990).

Em sua obra, Eijkelhof (1990) desenvolve um estudo, pautado em abordagens diversas tais como a Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA), risco e nas concepções alternativas, para constatar e afirmar a importância e a necessidade da inserção da Física das Radiações Ionizantes nos currículos das escolas holandesas.

Inicialmente, o autor realiza uma revisão de inúmeras propostas educacionais de diversos países da Europa, dentre eles a Holanda. Nesse contexto, nos anos 70, dois projetos curriculares de física foram iniciados: o projeto PLON (*Physics Curriculum Development Project*, ou em português, Projeto de Desenvolvimento Curricular em Física) e o projeto Física na Sociedade. Durante a vida do projeto PLON (1972-1986), um conjunto de unidades foi produzido para o Ensino Médio. Dentre os conteúdos abordados, o tópico da radioatividade e da radiação ionizante foi apresentada em duas unidades: 1) Armas nucleares e /ou segurança, para os primeiros anos e; 2) Radiação ionizante, para estudantes avançados.

É importante destacar que os currículos do PLON foram baseados na perspectiva atualmente designada CTSA, no sentido de que as experiências de mundo dos alunos foram utilizadas como ponto de partida, com ênfase em artefatos tecnológicos e fenômenos naturais. Dessa maneira, é compreensível a escolha dos dois conteúdos que seriam trabalhados dentro da Física das Radiações Ionizantes.

Eijkelhof (1990) propõe um currículo que aborda conteúdos da Física das Radiações Ionizantes considerados relevantes para o autor. Esses conteúdos são apresentados no quadro 04.

Quadro 04: Conteúdos de Física das Radiações Ionizantes propostos por Eijkelhof (1990).

Propriedades dos raios X.
Isótopos.
Núcleos estáveis e instáveis; radiação α , β e γ .
Origem da instabilidade núcleos por bombardeio.
Meia-vida.
Demonstração de radiação ionizante com câmara de nuvens.
Contador Geiger Muller
Atividade, dose.
Raios cósmicos e outras formas de radiação natural.
Efeitos biológicos da radiação ionizante.
Proteção contra Radiação.
Aplicações médicas de radiação ionizante.
Fissão nuclear.
Fusão nuclear.
$E = \Delta m \cdot c^2$
Princípio de um reator nuclear.
Ciclo de combustível nuclear.
Tipos de resíduos radioativos.
Armas nucleares: princípios de operação, efeitos.

Fonte: Próprio autor

É importante destacar que, segundo o autor, a justificativa para a escolha desses conteúdos se pauta nas seguintes considerações: o currículo deveria dar ênfase, não apenas à fonte e à natureza da radiação, mas também para os seus efeitos; a unidade não deveria focar em uma ou duas questões completas, mas na radiação ionizante em si e, por fim, a radiação ionizante deveria ser aplicada em várias situações práticas do cotidiano dos alunos. Entendo que esses conteúdos são considerados, na perspectiva do autor, como aqueles relevantes para a compreensão das radiações ionizantes, uma vez que os tópicos sugeridos contemplam os conceitos e fenômenos atrelados à temática em questão.

Como explicitado anteriormente no capítulo 2, a proposta de Eijkelhof (1990) foi pensada para a Educação Básica. Por sua vez, ao pensarmos em um conjunto de conteúdos a serem discutidos, em cursos de formação de professores de física, constatamos a falta de estudos que possam subsidiar a implementação de disciplinas que contemplem o ensino da Física das Radiações Ionizantes, como iremos mostrar mais adiante.

No contexto brasileiro, a literatura da área de Educação em Ciências é possível encontrar estudos que versam sobre as radiações ionizantes na formação de professores de física (SILVA, 2017; SILVA, 2011; SILVA E PENIDO, 2011; FAÊDA E MARTINS, 2013). Esses trabalhos ressaltam a importância do ensino das radiações ionizantes, uma vez que se abordam tópicos atuais que contribuem para a formação de um cidadão crítico, e, tentam produzir subsídios para a inserção dessa temática em aulas de física. Ainda, eles argumentam sobre a falta de inserção das Radiações Ionizantes, tanto na Educação Básica como na formação de professores. Entretanto, nenhum deles apresenta um panorama da presença das radiações ionizantes nos currículos dos cursos de Física Licenciatura.

Diante disso, no presente capítulo, apresento um panorama da presença da FRI nos cursos de Física Licenciatura da Unesp.

Com vistas a elaborar uma disciplina, a ser ofertada em um curso de formação inicial de professores de física, com foco nas Radiações Ionizantes, procurei identificar se existiam disciplinas semelhantes ofertadas no âmbito da Unesp, com o objetivo de buscar subsídios para a elaboração, referentes a carga horária, conteúdos e bibliografias.

Assim, uma das minhas ações foi a de identificar como as Radiações Ionizantes estão inseridas nos cursos de Física Licenciatura da Unesp, visto que é nessa instituição que ofertaria uma nova disciplina. No entanto, a análise da inserção das Radiações Ionizantes nos currículos dos cursos presenciais de Física Licenciatura já foi objeto de estudo por Bertoni e Londero (2021, 2023) e Mendes, Nossa e Londero (2019).

Com isso, me ampararei nestas produções para apresentar como as Radiações Ionizantes estão inseridas nos currículos dos cursos de Física Licenciatura da Unesp, em termos de período de ensino, conteúdos abordados, carga horária e concepção de ensino.

A Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) é uma das maiores e mais importantes instituições de ensino superior do Brasil. Mantida pelo Governo do Estado de São Paulo, é uma das quatro universidades públicas de ensino gratuito, ao lado da USP (Universidade de São Paulo), da Unicamp (Universidade Estadual de Campinas) e da UNIVESP (Universidade Virtual do Estado de São Paulo).

Criada em 1976, a Unesp surgiu da incorporação dos Institutos Isolados de Ensino Superior do Estado de São Paulo, que eram unidades universitárias localizadas em diversas cidades do interior paulista. No mapa do estado de São Paulo, reproduzido na figura 5, é possível visualizar as atuais unidades da Unesp por cidade em que estão localizadas.

Figura 05 - Unidades universitárias da UNESP no estado de São Paulo



Fonte: <https://www2.unesp.br/portal#!/sobre-a-unesp/unidades/faculdades-e-institutos/>

A UNESP encontra-se presente em todas as regiões de São Paulo (capital, interior e litoral) com polos em vinte e quatro cidades, sendo cinco dessas (Itapeva, Ourinhos, Registro, Rosana e São João da Boa Vista) campos experimentais, ou seja, são unidades que utilizam o formato de parceria coletiva entre a UNESP, governo do estado e a prefeitura municipal das cidades.

Dentre as vinte e quatro cidades, os cursos de física licenciatura estão presentes em seis, a saber: Guaratinguetá e Rio Claro, com início em 1963; Bauru, com início em 1990; Ilha Solteira e Presidente Prudente, com início em 2002, e São José do Rio Preto, com início em 2011.

A presença das Radiações Ionizantes foi identificada apenas nos currículos dos cursos de Física Licenciatura, uma vez que os cursos de bacharelado, ofertados pela UNESP, possuem especificidade, como os bacharelados em Física Médica (ofertado pelo campus de Botucatu) e o bacharelado em Física Biológica (ofertado pelo campus de São José do Rio Preto), cujos focos não se destinam a formação de profissionais que iram atuar na área da Educação.

Mendes, Nossa e Londero (2019) investigaram como a Física das Radiações Ionizantes estava inserida no currículo dos cursos de Formação de Professores de Física do estado de São Paulo, após a publicação das 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, publicadas pelo Conselho Nacional de Educação em 2015 e das Diretrizes Curriculares Complementares para a Formação de Docentes para a Educação Básica nos Cursos de Graduação de Pedagogia, Normal Superior e Licenciaturas, expedidas pelo Conselho Estadual de Educação.

Para identificar as instituições de ensino do estado de São Paulo que oferecem cursos de Física Licenciatura, Mendes, Nossa e Londero (2019) realizaram uma busca pelo e-MEC¹. De acordo com eles, o e-MEC é uma base de dados oficial de informações relativas às Instituições de Educação Superior (IES) e cursos de graduação do Sistema Federal de Ensino (p. 19).

Os autores identificaram um total de 21 instituições (quadro 05) que ofertam o curso de Física Licenciatura e um total 39 cursos, sendo que apenas 23 oferecem disciplinas que abordam temas ligados a Radiações Ionizantes.

Quadro 05- Instituições com cursos de Física Licenciatura no estado de São Paulo.

Número de Ordem	Instituição/Sigla
01	Universidade de São Paulo – USP
02	Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR
03	Universidade Presbiteriana Mackenzie - MACKENZIE
04	Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP
05	Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP
06	Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de São José do Rio Pardo - FFCL
07	Universidade de Uberaba – UNIUBE (polo EaD)
08	Fundação Universidade Virtual do Estado de São Paulo – UNIVESP
09	Fundação Universidade Federal do ABC - UFABC
10	Universidade de Sorocaba – UNISO
11	Universidade Cruzeiro do Sul - UNICSUL
12	Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE
13	Universidade do Vale do Paraíba - UNIVAP
14	Universidade Brasil
15	Universidade Cidade de São Paulo - UNICID
16	Universidade de Franca - UNIFRAN
17	Universidade de Taubaté – UNITAU
18	Faculdade de Presidente Prudente - FAPEPE
19	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP

¹ <http://emec.mec.gov.br>

20	Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos - UNIFEB
21	Faculdade Politec – FAP

Fonte: Mendes, Nossa e Londero (2019)

A Unesp destacou-se na identificação por apresentar 06 cursos, abaixo apenas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP, que contém 07 cursos, bem como aquela que apresenta dois dos mais antigos cursos, abertos em 1963, no campus de Rio Claro e de Guaratinguetá. Os cursos mais antigos são da Universidade de São Paulo, de 1934, e o da Universidade Presbiteriana Mackenzie de 1949.

Dos 23 cursos que oferecem disciplinas que abordam conteúdos ligados às Radiações Ionizantes, os autores mapearam um conjunto de 15 disciplinas (quadro 06), oferecidas na USP, campus de São Paulo, nos cursos do período integral e noturno da UNESP, campus de Rio Claro, Presidente Prudente e São José do Rio Preto, UNIUBE, UNICSUL, UNOESTE, UNITAU, IFSP campus de Birigui, Caraguatatuba, Registro, São Paulo e UFABC.

Quadro 06 - Disciplinas identificadas que tratam das Radiações Ionizantes.

Código	Disciplina	Tipo / Ano ou Semestre	Carga Horária (h)
01	Efeitos Biológicos das Radiações Ionizantes e não Ionizantes	Optativa	60
02	Efeitos Biológicos das Radiações Ionizantes e não Ionizantes	Optativa	60
03	Física Nuclear	Optativa	60
04	Física das Radiações e Radioproteção	Optativa	60
05	Noções de Física Nuclear e Relatividade Restrita	Etapa 6	80
06	Introdução a Física Nuclear e a de Partículas	---	--
07	Física Atômica e Nuclear	6º Termo	80
08	Estrutura da Matéria – Física Molecular, Nuclear, Partículas	5º/6º Termo	--
09	Física Nuclear e de Partículas	6º semestre	80
10	Física Nuclear e de Partículas	8º semestre	33,3
11	Efeitos Biológicos das Radiações	5º semestre	31,7
12	Física Nuclear e de Partículas	7º semestre	75
13	Introdução a Física Nuclear	Optativa	48
14	Meio Ambiente e as Radiações Não Ionizantes	Optativa	80
15	Química Geral	1º semestre	60

Fonte: Mendes, Nossa e Londero (2019)

O quantitativo de 15 disciplinas indica que as Radiações Ionizantes não parece ser prioridade na formação dos futuros professores de Física. Mendes, Nossa e Londero (2019) argumentam que “a ausência de uma disciplina própria para o tópico de Radiações Ionizantes talvez possa ser explicada em virtude de os conteúdos presentes neste tópico serem discutidos e/ou diluídos em outras disciplinas” (p. 521). Como pode ser observado no quadro 06 as cargas horárias variam.

Além das 15 disciplinas listadas no quadro 06, Mendes, Nossa e Londero (2019) encontraram, especificamente nos cursos da Unesp, no chamado Núcleo Comum, a presença das Radiações Ionizantes em 03 disciplinas obrigatórias, Física IV, no campus de Ilha Solteira, e Física IV e Química Geral no campus de Presidente Prudente, as quais contemplam, entre outros tópicos, o estudo da Física Nuclear.

Ainda, encontraram a presença das Radiações Ionizantes em uma disciplina experimental, obrigatória, intitulada “Laboratório de Estrutura da Matéria”, oferecida na UNESP de Ilha Solteira, no sexto semestre, com carga horária de 60h, a qual aborda o decaimento radioativo (p. 522) e na disciplina nomeada “Física Moderna para professores do Ensino Médio”, ofertada pelo campus de Guaratinguetá, no quarto ano, com uma carga horária de 30 horas.

Com base nos quantitativos encontrados, os autores afirmam que disciplinas práticas sobre Radiações Ionizantes estão ausentes das estruturas currículos dos cursos investigados. Para eles, a ausência é “justificada em virtude de limitações econômicas, estruturais e eventuais situações de risco que experimentos relacionados a esse tema podem gerar” (p. 523).

Concordamos com Mendes, Nossa e Londero (2019), quando tecem comentários sobre a disciplina nomeada “Física Moderna para professores do Ensino Médio”, ao afirmarem que os elaboradores desta disciplina:

[...]preocuparam-se tanto com o ensino dos aspectos conceituais da física quanto a aplicação deles na Educação Básica, como podemos observar mediante a leitura dos trechos extraídos das ementas: “Discussão sobre os livros de ensino médio que abordam a Física Moderna como tópico corrente ao aluno de ensino médio”. (p. 522)

Ainda, as radiações ionizantes se fazem presentes em disciplinas avançadas, como é o caso da “Física Moderna II”, ofertada no sétimo semestre, com uma carga horária de 60 horas, na Unesp de São José do Rio Preto, na qual é abordada o estudo da Radioatividade e Reações Nucleares.

Por fim, identificou-se a presença de discussões sobre as radiações ionizantes na disciplina de História da Ciência, do campus de Bauru, com uma carga horária de 60 horas, a

qual aborda a evolução da física e ressalta a Radioatividade como ponto importante no desenvolvimento da ciência.

A partir do estudo de Mendes, Nossa e Londero (2019) faço alguns destaques. O primeiro são os tópicos de FRI presentes na ementa de Química Geral, Física IV e Meio Ambiente e as Radiações Ionizantes do Curso de Física Licenciatura de Presidente Prudente, os quais destaco nos quadros 07 e 08, respectivamente.

Quadro 07- Tópicos de Radiações Ionizantes na ementa de Química Geral.

Número de Ordem	Química nuclear
1	Radioatividade
2	Padrões de estabilidade nuclear
3	Transmutações nucleares
4	Velocidade de decaimento radioativo
5	Deteção de radioatividade
6	Variações de energia nas reações nucleares
7	Fissão nuclear
8	Fusão nuclear
9	Efeitos biológicos da radioatividade

Fonte: próprio autor

Quadro 08 - Tópicos de Radiações Ionizantes na ementa de Física IV.

Número de Ordem	FISICA IV - Física Nuclear e Energia Nuclear	
1	Física Nuclear	• O núcleo e algumas propriedades nucleares.
		• Decaimento radioativo: alfa e beta.
		• Datação e medida da dose de radiação.
		• Modelos nucleares.
2	Energia Nuclear	• O átomo e seu núcleo.
		• Fissão nuclear e o reator nuclear.
		• Fusão nuclear e o Tokamak.
		• Fusão a Laser.

Fonte: próprio autor

Em relação a disciplina “Meio Ambiente e as Radiações Ionizantes”, ao acessar a página do curso de Física de Presidente Prudente, não é possível acesso a sua ementa para conseguirmos os assuntos que são abordados nela.

Assim como na unidade de Presidente Prudente, notei que as unidades de Ilha Solteira e Guaratinguetá abordagem a temática da Radiações Ionizantes por meio das disciplinas de

“Física IV” e “Física Moderna para professores do Ensino Médio”, respectivamente. Em relação à disciplina “Física Moderna para professores do Ensino Médio” a Radiação Ionizante aparece no tópico da ementa “*origens da física quântica: descargas em gases rarefeitos; dos raios catódicos ao elétron; espectro da radiação térmica; o quantum de ação; raios X e radioatividade*”. No caso da disciplina de Física IV são apenas pontuados, na ementa, os tópicos “Física Atômica e Nuclear” e “Física Nuclear e Energia Nuclear”, sem qualquer especificação de qual será a ênfase do curso em relação aos conteúdos a serem trabalhados com os estudantes.

Outro destaque que considere relevante pontuar diz respeito a unidades de Rio Claro e Rio Preto, as quais ofertam os cursos de Bacharelado e Licenciatura. Em ambas as unidades existe uma disciplina relacionada à temática da Física das Radiações Ionizantes. Na unidade de Rio Claro a disciplina é intitulada “Física Nuclear”; enquanto em São José do Rio Preto o tópico é tratado na disciplina nomeada “Física das Radiações e Radioproteção”. Ambas as disciplinas são ofertadas, respectivamente, no segundo semestre do quarto ano e no segundo semestre do terceiro ano. No quadro 09 estão dispostas as ementas das respectivas disciplinas.

Quadro 09: Disposição dos tópicos de Física das Radiações Ionizantes nas unidades de Rio Claro e Rio Preto.

Rio Claro	São José do Rio Preto
Ordens de grandeza em Física Nuclear.	Radiação: Revisão dos modelos da Física atômica e nuclear.
Composição dos núcleos.	Radiação ionizante: Produção de radiação ionizante.
Raios Nucleares.	Interação da radiação ionizante com a matéria: Interações de fótons com a matéria.
Energia de Ligação Nuclear e a Fórmula de Weiz Sacker.	Produção de feixes de partículas carregadas: Dinâmica nuclear.
Modelos de Estrutura Nuclear.	Interação de partículas com a matéria: Tipos de interações com partículas carregadas.
Modelos Coletivos.	Detectores de partículas carregadas.
Modelos de Camadas.	Radioatividade.
Modelo Generalizado.	Dcaimento radioativo: Alfa, Beta e Gama
Dcaimento Alfa, Beta e Gama	Radiação ambiente ou de fundo.
Reações Nucleares	Radiação Cósmica.
Fissão e Fusão Nucleares	Fissão e Fusão Nucleares.
Instrumentação Nuclear	Princípios de dosimetria e detecção de radiação:

	Princípios dosimétricos.
--	--------------------------

Fonte: Próprio autor

No entanto, a disciplina de Física Nuclear em Rio Claro é optativa, tanto para o curso de Bacharelado como para o curso de Licenciatura. Já a disciplina de Física das Radiações e Radioproteção é obrigatória para o curso de Bacharelado e optativa para o curso de Licenciatura.

Por sua vez, Bertoni e Londero (2021, 2023) analisaram a inclusão da Radiações Ionizantes nos seis cursos de formação de professores de Física da Unesp, por meio da Teoria do Dispositivo Pedagógico de Basil Bernstein, evidenciando características dos Campos Recontextualizadores Oficiais (CRO) e Pedagógicos (CRP).

Os autores analisaram os discursos reguladores oficiais e pedagógicos encontrados nos Projetos Políticos Pedagógicos dos cursos, bem como, as proposições dos conteúdos, metodologias e objetivos oferecidos nas disciplinas relativas às Radiações Ionizantes.

Com base na Resolução do Conselho Nacional de Educação/Conselho Pleno nº 2, de 20 de dezembro de 2019, que 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), nas Deliberações do Conselho Estadual de Educação do estado de São Paulo (CEE/SP), nº 111/2012 e nº 126 de 2014, que fixam Diretrizes Curriculares Complementares para a Formação de Docentes para a Educação Básica nos Cursos de Graduação de Pedagogia, Normal Superior e Licenciaturas, oferecidos pelos estabelecimentos de ensino superior vinculados ao sistema estadual de São Paulo, e nas Diretrizes Curriculares para os Cursos de Física (BRASIL, 2001), Bertoni e Londero (2021) procuraram compreender como essas diretrizes, transmutadas em códigos, discursos, pedagogias visíveis e invisíveis, formas de classificação e enquadramento, exerceram influência na construção dos currículos dos cursos, especificamente no que tange a inclusão das Radiações Ionizantes.

A BNC-Formação explicita, em seu artigo 5, amparada na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (Lei nº 9.394/1996), que a formação dos professores e demais profissionais da Educação tem como fundamentos:

I - a sólida formação básica, com conhecimento dos fundamentos científicos e sociais de suas competências de trabalho; II - a associação entre as teorias e as práticas pedagógicas; e III - o aproveitamento da formação e das experiências anteriores, desenvolvidas em instituições de ensino, em outras atividades docentes ou na área da Educação. (BRASIL, 2019, p. 3)

No artigo 10 encontramos que a formação em cursos em nível superior de licenciatura, destinados à Formação Inicial de Professores para a Educação Básica, deve ter carga horária total de, no mínimo, 3.200 horas. A distribuição dessa carga horária é especificada no artigo 11, no qual consta:

I - Grupo I: 800 (oitocentas) horas, para a base comum que compreende os conhecimentos científicos, educacionais e pedagógicos e fundamentam a educação e suas articulações com os sistemas, as escolas e as práticas educacionais. II - Grupo II: 1.600 (mil e seiscentas) horas, para a aprendizagem dos conteúdos específicos das áreas, componentes, unidades temáticas e objetos de conhecimento da BNCC, e para o domínio pedagógico desses conteúdos. III - Grupo III: 800 (oitocentas) horas, prática pedagógica, assim distribuídas: a) 400 (quatrocentas) horas para o estágio supervisionado, em situação real de trabalho em escola, segundo o Projeto Pedagógico do Curso (PPC) da instituição formadora; e b) 400 (quatrocentas) horas para a prática dos componentes curriculares dos Grupos I e II, distribuídas ao longo do curso, desde o seu início, segundo o PPC da instituição formadora. (BRASIL, 2019, p. 5)

Por sua vez, pela deliberação nº 126 de 2014 do CEE/SP, os cursos de licenciatura deverão empregar, ao menos, 30% da carga horária total à formação didático-pedagógica. Não faz parte deste montante os estágios supervisionados e as atividades científico-culturais.

Já as Diretrizes Curriculares para os Cursos de Física apontam o perfil do formando, o qual “deve ser um profissional que, apoiado em conhecimentos sólidos e atualizados em Física, deve ser capaz de abordar e tratar problemas novos e tradicionais e deve estar sempre preocupado em buscar novas formas do saber e do fazer científico ou tecnológico” (BRASIL, 2001, p. 3). Ela distingue, ainda, perfis específicos.

Físico – pesquisador: ocupa-se preferencialmente de pesquisa, básica ou aplicada, em universidades e centros de pesquisa. Esse é com certeza, o campo de atuação mais bem definido e o que tradicionalmente tem representado o perfil profissional idealizado na maior parte dos cursos de graduação que conduzem ao Bacharelado em Física.

Físico – educador: dedica-se preferencialmente à formação e à disseminação do saber científico em diferentes instâncias sociais, seja através da atuação no ensino escolar formal, seja através de novas formas de educação científica, como vídeos, “software”, ou outros meios de comunicação. Não se aterá ao perfil da atual Licenciatura em Física, que está orientada para o ensino médio formal.

Físico – tecnólogo: dedica-se predominantemente ao desenvolvimento de equipamentos e processos, por exemplo, nas áreas de dispositivos optoeletrônicos, eletro-acústicos, magnéticos, ou de outros transdutores, telecomunicações, acústica, termodinâmica de motores, metrologia, ciência dos materiais, microeletrônica e informática. Trabalha em geral de forma associada a engenheiros e outros profissionais, em microempresas, laboratórios especializados ou indústrias. Este perfil corresponderia ao esperado para o egresso de um Bacharelado em Física Aplicada.

Físico – interdisciplinar: utiliza prioritariamente o instrumental (teórico e/ ou experimental) da Física em conexão com outras áreas do saber, como, por exemplo, Física Médica, Oceanografia Física, Meteorologia, Geofísica, Biofísica, Química, Física Ambiental, Comunicação, Economia, Administração e incontáveis outros campos. Em quaisquer dessas situações, o físico passa a atuar de forma conjunta e harmônica com especialistas de outras áreas, tais como químicos, médicos, matemáticos, biólogos, engenheiros e administradores. (BRASIL, 2001, p. 3)

Com relação a estrutura do curso, as diretrizes afirmam que os currículos podem ser divididos em duas partes: a) um núcleo comum a todas as modalidades de cursos, com 50% da carga horária total, caracterizado por contemplar disciplinas relativas à física clássica, física moderna e contemporânea, matemática e disciplinas complementares e; b) módulos sequenciais especializados, em que serão dadas as orientações finais necessárias para completar o curso.

Para o perfil de Físico – educador, as diretrizes explicitam que os módulos sequenciais:

...estarão voltados para o ensino da Física e deverão ser acordados com os profissionais da área de educação quando pertinente. Esses sequenciais poderão ser distintos para, por exemplo, (i) instrumentalização de professores de Ciências do ensino fundamental; (ii) aperfeiçoamento de professores de Física do ensino médio; (iii) produção de material instrucional; (iv) capacitação de professores para as séries iniciais do ensino fundamental. Para a licenciatura em Física serão incluídos no conjunto dos conteúdos profissionais, os conteúdos da Educação Básica, consideradas as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores em nível superior, bem como as Diretrizes Nacionais para a Educação Básica e para o Ensino Médio. (BRASIL, 2001, p. 7)

Diante destas diretrizes, Bertoni e Londero (2021, 2023) mapearam as disciplinas que possuem/contemplam conteúdos relacionados às Radiações Ionizantes no âmbito da Unesp. O mapeamento foi realizado por meio da coleta dos Projetos Políticos Pedagógicos dos cursos. As disciplinas identificadas pelos autores estão listadas no quadro 10, juntamente com o semestre de oferta, carga horária, tipo de crédito e unidade universitária em que é ofertada.

Quadro 10 – Disciplinas mapeadas nos cursos de Física Licenciatura da Unesp.

Nº de Ordem	Disciplina	Semestre	Carga Horária (h)	Tipo de crédito	Unidade
1	Física Moderna para Professores do Ensino Médio	7	30	Obrigatório	Guaratinguetá
2	Estrutura da Matéria I	7	60	Obrigatório	Guaratinguetá
3	Estrutura da Matéria	5	120	Obrigatório	Ilha Solteira
4	Física das Radiações	---	30	Optativo	Ilha Solteira
5	Estrutura da Matéria	5	120	Obrigatório	Rio Claro

6	Física Moderna e Contemporânea	6	90	Obrigatório	Presidente Prudente
7	Física das Radiações Ionizantes	5	60	Optativo	São José do Rio Preto

Fonte: Bertoni e Londero (2021, 2023)

Como resultados os autores encontraram 7 disciplinas que contemplam discussões acerca das Radiações Ionizantes, sendo cinco do tipo obrigatório e duas do tipo optativa. No entanto, apenas duas delas são dedicadas exclusivamente ao estudo das Radiações.

As disciplinas mapeadas são ofertadas com diferentes cargas horárias, que variam de 30 até 120 horas. Ainda, as disciplinas são ofertadas a partir da metade do funcionamento dos cursos.

Entre os conteúdos predominantes, ou seja, com maior recorrência nos documentos analisados estão: a) Propriedades das Radiações, b) Raios X e, c) Reações Nucleares.

Ao finalizar o estudo, Bertoni e Londero (2021, 2023) inferem que foi possível reconhecer, através do dispositivo pedagógico de Bernstein, regras distributivas, presentes nos documentos analisados, na forma de justificativas para a inserção de disciplinas e conteúdos, clássicos e atualizados, nos cursos de Licenciatura em Física, por meio da recontextualização das normas e proposições manifestadas nos documentos reguladores pertencentes ao CRO.

Bertoni e Londero (2023) inferem que, nos documentos que compõe o CRO, evidencia-se a necessidade da existência da Física das Radiações Ionizantes - pois fazem parte da Física Moderna e Contemporânea - nos documentos que compõe o CRP. Contudo, apesar das proposições incisivas sobre a primordialidade deste conteúdo no CRP, constataram a ausência dele nos cursos investigados.

Como é possível observar pelo estudo desenvolvido pelos autores, a Física das Radiações Ionizantes não se faz presente em todos os currículos analisados. Apesar de inúmeras justificativas para a sua inserção, apenas 2 disciplinas mapeadas se dedicam exclusivamente ao ensino das Radiações Ionizantes. No entanto, elas são optativas para os cursos de licenciatura. Apenas 2 disciplinas – Física Moderna para Professores do Ensino Médio (UNESP – Guaratinguetá) e Física das Radiações Ionizantes (UNESP – São José do Rio Preto) - se destinam a evidenciar formas de recontextualizar adequadamente os conteúdos da Física Moderna e Contemporânea para o E.M. Aderimos ao exposto por Bertoni e Londero (2023)

Ressaltamos a necessidade de abordar, de maneira adequada, os conteúdos relacionados às Radiações Ionizantes no Ensino Superior, para que seja possível recontextualizá-los no Ensino Básico. Pois, o despreparo e falta de

confiança dos professores em abordar estes conteúdos não será resolvido se os problemas estruturais, anteriores a recontextualização na sala de aula, não forem sanados. Assim, a instrução sobre os tópicos de Radiações Ionizantes e formas efetivas de recontextualizar estes conteúdos no Ensino Básico se fazem necessários, ainda na formação inicial de professores, para o desenvolvimento de ferramentas que proporcionem instrumentos de ensino-aprendizagem apropriados para as práticas pedagógicas. (p. 31)

Os estudos desenvolvidos Mendes, Nossa e Londero (2019) e Bertoni e Londero (2021, 2023) parecem indicar que as Radiações Ionizantes não são prioridade nos currículos dos cursos investigados, uma vez que não há disciplinas específicas que tratem desta temática, ou quando existem são ofertadas como “Optativa”, não tendo o estudante a obrigatoriedade de cursar e, por consequência, graduando-se sem obter os conhecimentos acerca das Radiações Ionizantes.

Diante do exposto, no próximo capítulo, apresento uma proposta para o ensino da Física das Radiações Ionizantes na formação de professores de física, bem como os procedimentos metodológicos da presente pesquisa.

CAPÍTULO 4. ASPECTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

Neste capítulo exponho os aspectos metodológicos para o desenvolvimento do estudo. Apresento, inicialmente, a natureza da pesquisa para, após, tecer comentários acerca do local de realização da pesquisa. Na sequência, exibo informações sobre o docente, os participantes da pesquisa, a disciplina ministrada e os recursos para coleta e registro das informações. Finalizo com a descrição do referencial teórico de análise dos dados.

4.1 A NATUREZA DA PESQUISA

Para definir a natureza da minha pesquisa como qualitativa, ancoro-me em Flick (2009, p.8). Para esse autor, uma pesquisa qualitativa pode ser realizada “analisando experiências de indivíduos ou de grupos, assim como interações e comunicações que estão ocorrendo no momento e investigando documentos ou traços semelhantes de experiências ou interações”.

Segundo Flick (2009), a pesquisa qualitativa “[...] parte da noção da construção social de realidades em estudo, está interessada nas perspectivas dos participantes, em suas práticas do dia a dia e em seu conhecimento cotidiano relativo à questão em estudo” (p. 16).

Por sua vez, considero a pesquisa como do tipo Interventiva. Dentre as diversas metodologias associadas à pesquisa qualitativa encontra-se aquelas denominadas Pesquisa de Natureza Interventiva (PNI). De acordo com Teixeira e Megid Neto (2017) as PNI se inserem na pluralidade dos diferentes tipos de pesquisas caracterizadas por associar, de alguma maneira, a produção e a investigação de conhecimentos, com ação e/ou recursos interventivos. Os autores apontam que as PNI são reconhecidas como modalidades de investigação pertinentes para produzir conhecimentos, práticas alternativas/inovadoras e processos colaborativos, bem como podem ser utilizadas para:

[...] testar ideias e propostas curriculares, estratégias e recursos didáticos, desenvolver processos formativos, nos quais, os pesquisadores e demais sujeitos envolvidos, atuam na intenção de resolver questões práticas sem deixar de produzir conhecimento sistematizado. (p. 1056)

Meu interesse na PNI se deve ao seu emprego em investigações que oferecem respostas para problemas práticos e que, no caso da pesquisa educacional, abrangem a produção na área de Educação em Ciências (TEIXEIRA, MEGID NETO, 2017; MACIEL, PASOS, ARRUDA, 2018; TEIXEIRA, 2020).

Após a breve apresentação da natureza da pesquisa, passo a apresentar o local em que ela foi realizada.

4.2 O LOCAL DE REALIZAÇÃO

A pesquisa foi realizada no Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas (IBILCE) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

De acordo com as informações constantes no site do IBILCE/Unesp², ele nasceu como UMURP – Universidade Municipal de São José do Rio Preto, criada pelo Decreto Municipal nº 249, de 25/8/1955. No ano de 1957 foi sancionada a Lei estadual nº 3884 que transformou a UMURP em um instituto isolado do sistema estadual de ensino superior, sob o nome de Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras - FAFI. Em 1959, o patrimônio da FAFI, que pertencia à Prefeitura Municipal, foi doado ao governo do estado de São Paulo.

A Unesp, criada em 1976, resultou da incorporação de diversos Institutos Isolados de Ensino Superior espalhados em diferentes pontos do interior do estado de São Paulo. Dentre as sete primeiras unidades universitárias, agrupadas para iniciar a Unesp, a FAFI esteve presente, assim como a Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Assis, a de Araraquara, de Franca, de Marília, de Presidente Prudente e a de Rio Claro.

Após tornar-se um dos campi que compunham a Unesp, a unidade de São José do Rio Preto contava, a partir de 1968, com o curso de “Licenciatura em Matemática”, no período noturno, o qual passou a ser reconhecido a partir de 1972. O curso de Pedagogia, um dos três iniciados em 1957, foi suprimido em 1976, mesmo ano em que a FAFI se tornou uma unidade da Unesp. Todavia, foi proposto e implementado em 2004.

Em 1977 entrou em funcionamento o curso de “Bacharelado em Matemática”. Em 1981, o curso “Bacharelado em Letras com Habilitação de Tradutor” entra em funcionamento. Já no ano de 1984, o curso de “Engenharia de Alimentos” passou a ser ofertado. Em 1987 iniciou o curso de “Bacharelado em Ciências da Computação” e, em 2003, foram postos em funcionamento mais dois cursos: os bacharelados em “Física Biológica” e “Química Ambiental”.

Somente em 2012 foram criados os cursos de licenciatura em Química e em Física.

No presente momento, o IBILCE oferta 15 cursos de Graduação: Bacharelado em Ciências da Computação, Bacharelado em Letras com Habilitação de Tradutor, Bacharelado

² <https://www.ibilce.unesp.br/#!/sobre-o-campus/historia/>

em Ciências Biológicas, Licenciatura em Ciências Biológicas, Engenharia de Alimentos, Física Biológica, Licenciatura em Letras - Integral, Licenciatura em Letras - Noturno, Licenciatura em Matemática - Diurno, Licenciatura em Matemática - Noturno, Bacharelado em Matemática, Pedagogia, Química Ambiental, Licenciatura em Física e Licenciatura em Química.

Como discorrerei mais adiante, a pesquisa ocorreu junto aos estudantes matriculados em uma disciplina optativa do curso de Física Licenciatura intitulada “Radiações ionizantes: aspectos teóricos e didáticos”. Perante isso, passo a tecer comentários sobre o docente da disciplina e sobre os estudantes matriculados.

4.3 O DOCENTE

O docente responsável pela disciplina foi o professor doutor Leandro Londero. Todavia, quem ministrou a disciplina “Radiações ionizantes: aspectos teóricos e didáticos” é o responsável pela elaboração desta tese. Sou bacharel em Física Biológica pelo IBILCE/UNESP, obtido em 2013. No ano de 2016 obtive o título de Licenciado em Física pela mesma instituição e, em 2018, adquiri o título de mestre em Ensino e Processos Formativos, pelo Programa de Pós-graduação em Ensino e Processos Formativos também da Unesp de São José do Rio Preto.

Iniciei minha atividade profissional de docente no ano de 2016 em colégios particulares de ensino básico. A primeira experiência de docência no ensino superior surgiu em 2017, durante o estágio docência, requisito exigido para a obtenção do grau de mestre. Em 2019, ao ser aprovado no processo seletivo para professor substituto do Departamento de Educação da UNESP de São José do Rio Preto, consegui obter maior experiência durante os dez meses de contrato, em que ministrei as disciplinas de Teoria e Prática de Ensino I; Teoria e Prática de Ensino II; Organização da Educação Brasileira: perspectiva histórica e Tecnologia da Informação e Comunicação Aplicadas à Educação. Surgiram, ainda, vagas de estágio remunerado no campus de Araraquara no primeiro semestre de 2020 na disciplina de Práticas de Ensino e Estágio Curricular Supervisionado: currículo, linguagens e avaliação no ensino de Química, e, novamente, em São José do Rio Preto, no segundo semestre de 2020, para a disciplina de Fundamentos Teóricos-práticos para o Ensino de Física I e, finalmente, para o segundo semestre de 2021, para ministrar as disciplinas de Física I e Laboratório de Física I na unidade de Ilha Solteira.

Por já ter estudado sobre a FRI no mestrado, o docente se sentiu confortável para selecionar os conteúdos conceituais que seriam abordados, bem como os instrumentos de coleta e registro de dados que seriam usados para o desenvolvimento do estudo.

4.4 OS ESTUDANTES MATRICULADOS E COLABORADORES DO ESTUDO

Participaram do estudo 20 estudantes, sendo 16 do curso de física licenciatura, 3 do curso química, além de um professor da rede pública de ensino em exercício docente, na qualidade de ouvinte. Os participantes da pesquisa são oriundos, em sua maioria, de escolas públicas de São José do Rio Preto e região.

A participação de estudantes do curso de química se deu em virtude de a disciplina estar disponível no sistema da graduação da Unesp, sendo permitida a matrícula de estudantes oriundos de outros cursos.

Além dos estudantes dos cursos da Unesp, participou do estudo um professor da rede pública de ensino do estado de São Paulo em exercício docente em uma escola de ensino integral. O docente possui formação em Física Licenciatura pela Unesp de Rio Claro.

No quadro 11, sintetizo algumas informações dos participantes, tais como o curso ao qual pertencem, o semestre em que se encontravam ao se inscreverem na disciplina, bem como as disciplinas já cursadas até o momento da matrícula (correspondente ao primeiro semestre de 2021). O sinal de asterisco (*) indica que o estudante estava cursando a disciplina concomitantemente à que ofereci.

Quadro 11 – Dados dos participantes da pesquisa

Ordem	Participante	Gênero (F/M)	Curso	Ano de Ingresso	Semestre de participação	Disciplinas Cursadas			Ano de Conclusão
						Matéria Comum	Educacionais	Conhecimento Pedagógico do Conteúdo	
1	ACJS	F	Física	2017	9º semestre	Álgebra Linear Cálculo I Cálculo II Física I Física II Física III Física IV Física Moderna I Geometria Analítica	Didática Libras, Educação Especial e Inclusiva Política Educacional Brasileira Psicologia da Educação	Fundamentos Históricos, Sociológicos e Filosóficos da Educação Fundamentos Teóricos para o Estágio Curricular Supervisionado Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física I Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física II História da Física Instrumentação para o Ensino de Ciências Instrumentação para o Ensino de Física I Instrumentação para o Ensino de Física II Instrumentação para o Ensino de Física III Instrumentação para o Ensino de Física IV Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado I Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado II*	2022
2	ALoj	M	Física	2018	7º semestre	Cálculo I Cálculo II Física I Física II Física III* Física IV Geometria Analítica	Libras, Educação Especial e Inclusiva* Política Educacional Brasileira* Psicologia da Educação	Fundamentos Históricos, Sociológicos e Filosóficos da Educação Fundamentos Teóricos para o Estágio Curricular Supervisionado Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física I Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino	Em curso

								de Física II História da Física Instrumentação para o Ensino de Física I Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado I	
3	BZC	F	Física	2016	11° semestre	Álgebra Linear Cálculo I Cálculo II Física I Física II Física III Física IV Física Moderna I* Geometria Analítica	Didática Libras, Educação Especial e Inclusiva Política Educacional Brasileira Psicologia da Educação	Fundamentos Históricos, Sociológicos e Filosóficos da Educação Fundamentos Teóricos para o Estágio Curricular Supervisionado Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física I Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física II História da Física Instrumentação para o Ensino de Ciências Instrumentação para o Ensino de Física I Instrumentação para o Ensino de Física II Instrumentação para o Ensino de Física III Instrumentação para o Ensino de Física IV Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado I Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado II*	Em curso
4	BBF	F	Química	2018	7° semestre	Álgebra Linear Cálculo I Física I Física II	Não consta	Não consta	2022
5	BSS	M	Física	2016	11° semestre	Álgebra Linear Cálculo I Cálculo II	Didática Libras, Educação Especial e Inclusiva	Fundamentos Históricos, Sociológicos e Filosóficos da Educação	2023

						Física I Física II Física III Física IV Física Moderna I Geometria Analítica	Política Educacional Brasileira Psicologia da Educação	Fundamentos Teóricos para o Estágio Curricular Supervisionado Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física I Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física II História da Física Instrumentação para o Ensino de Ciências Instrumentação para o Ensino de Física I Instrumentação para o Ensino de Física II Instrumentação para o Ensino de Física III Instrumentação para o Ensino de Física IV Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado I Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado II*	
6	EGB	M	Física	2016	11º semestre	Álgebra Linear Cálculo I Cálculo II Física I Física II Física III Física IV Física Moderna I* Geometria Analítica	Didática Libras, Educação Especial e Inclusiva* Política Educacional Brasileira* Psicologia da Educação	Fundamentos Históricos, Sociológicos e Filosóficos da Educação Fundamentos Teóricos para o Estágio Curricular Supervisionado Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física I História da Física Instrumentação para o Ensino de Física I* Instrumentação para o Ensino de Física II Instrumentação para o Ensino de Física III Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado I Metodologias de Ensino de Física e	2023

								Estágio Curricular Supervisionado II*	
7	EDB	M	Física	2018	7º semestre	Álgebra Linear Cálculo I Cálculo II Física I Física II Física III Física IV Física Moderna I Geometria Analítica	Didática Libras, Educação Especial e Inclusiva* Política Educacional Brasileira Psicologia da Educação	Fundamentos Históricos, Sociológicos e Filosóficos da Educação Fundamentos Teóricos para o Estágio Curricular Supervisionado Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física I Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física II História da Física Instrumentação para o Ensino de Ciências Instrumentação para o Ensino de Física I Instrumentação para o Ensino de Física II Instrumentação para o Ensino de Física III* Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado I Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado II*	2022
8	GMG	M	Física	2017	9º semestre	Álgebra Linear Cálculo I Cálculo II Física I Física III* Geometria Analítica*	Didática Libras, Educação Especial e Inclusiva* Política Educacional Brasileira Psicologia da Educação	Fundamentos Históricos, Sociológicos e Filosóficos da Educação Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física I Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física II História da Física Instrumentação para o Ensino de Física I	Em curso
9	JCSC	M	Química	2018	7º semestre	Álgebra Linear Cálculo I Cálculo II Física I	Não consta	Não consta	2023

						Física II			
10	LI	M	Física	2018	7º semestre	Álgebra Linear Cálculo I Cálculo II Física I Física II Física III Física IV Física Moderna I Geometria Analítica	Didática Libras, Educação Especial e Inclusiva* Política Educacional Brasileira Psicologia da Educação	Fundamentos Históricos, Sociológicos e Filosóficos da Educação Fundamentos Teóricos para o Estágio Curricular Supervisionado Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física I Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física II História da Física Instrumentação para o Ensino de Ciências Instrumentação para o Ensino de Física I Instrumentação para o Ensino de Física II Instrumentação para o Ensino de Física III* Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado I Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado II*	2022
11	LAC	M	Física	2017	9º semestre	Álgebra Linear Cálculo I Cálculo II Física I Física II Física III Física IV Física Moderna I Geometria Analítica	Didática Libras, Educação Especial e Inclusiva Política Educacional Brasileira Psicologia da Educação	Fundamentos Históricos, Sociológicos e Filosóficos da Educação Fundamentos Teóricos para o Estágio Curricular Supervisionado Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física I Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física II História da Física Instrumentação para o Ensino de Ciências Instrumentação para o Ensino de Física I Instrumentação para o Ensino de Física II	2022

								Instrumentação para o Ensino de Física III Instrumentação para o Ensino de Física IV Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado I Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado II Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado III	
12	LZLV	F	Física	2019	5° semestre	Álgebra Linear Cálculo I Cálculo II Física I Física II Física III Física IV Física Moderna I* Geometria Analítica	Didática Libras, Educação Especial e Inclusiva* Política Educacional Brasileira Psicologia da Educação	Fundamentos Históricos, Sociológicos e Filosóficos da Educação Fundamentos Teóricos para o Estágio Curricular Supervisionado Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física I História da Física* Instrumentação para o Ensino de Física I	2022
13	MC	M	Física	2019	5° semestre	Álgebra Linear Cálculo I Cálculo II Física I Física II Física III*	Didática Libras, Educação Especial e Inclusiva Política Educacional Brasileira* Psicologia da Educação	Fundamentos Históricos, Sociológicos e Filosóficos da Educação Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física I* Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física II Instrumentação para o Ensino de Física I	2022
14	MVB	M	Física	2017	9° semestre	Álgebra Linear Cálculo I Cálculo II Física I Física II Física III Física IV	Didática Libras, Educação Especial e Inclusiva* Política Educacional Brasileira Psicologia da Educação	Fundamentos Históricos, Sociológicos e Filosóficos da Educação Fundamentos Teóricos para o Estágio Curricular Supervisionado Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino	2022

						Física Moderna I Geometria Analítica		de Física I Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física II História da Física Instrumentação para o Ensino de Ciências Instrumentação para o Ensino de Física I Instrumentação para o Ensino de Física II Instrumentação para o Ensino de Física III Instrumentação para o Ensino de Física IV Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado I Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado II*	
15	OVS	M	Física	2016	11º semestre	Álgebra Linear Cálculo I Cálculo II Física I Física II Física III Física IV Física Moderna I Geometria Analítica	Didática Libras, Educação Especial e Inclusiva Política Educacional Brasileira Psicologia da Educação	Fundamentos Históricos, Sociológicos e Filosóficos da Educação Fundamentos Teóricos para o Estágio Curricular Supervisionado Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física I Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física II História da Física Instrumentação para o Ensino de Ciências Instrumentação para o Ensino de Física I Instrumentação para o Ensino de Física II Instrumentação para o Ensino de Física III Instrumentação para o Ensino de Física IV Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado I	2022

								Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado II Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado III	
16	RKH	M	Química	2018	7º semestre	Álgebra Linear Cálculo I Cálculo II Física I Física II	Não consta	Não consta	2022
17	SP	F	Física	2017	9º semestre	Álgebra Linear Cálculo I Cálculo II Física I Física II Física III Física IV Física Moderna I* Geometria Analítica	Didática Libras, Educação Especial e Inclusiva* Política Educacional Brasileira Psicologia da Educação	Fundamentos Históricos, Sociológicos e Filosóficos da Educação Fundamentos Teóricos para o Estágio Curricular Supervisionado Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física I Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física II História da Física* Instrumentação para o Ensino de Ciências Instrumentação para o Ensino de Física I Instrumentação para o Ensino de Física II Instrumentação para o Ensino de Física III Instrumentação para o Ensino de Física IV Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado I Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado II*	Em curso
18	TASS	M	Física	2016	11º semestre	Álgebra Linear Cálculo I Cálculo II	Didática Libras, Educação Especial e Inclusiva	Fundamentos Históricos, Sociológicos e Filosóficos da Educação	2022

						Física I Física II Física III Física IV Física Moderna I Geometria Analítica	Política Educacional Brasileira Psicologia da Educação	Fundamentos Teóricos para o Estágio Curricular Supervisionado Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física I Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física II História da Física Instrumentação para o Ensino de Ciências Instrumentação para o Ensino de Física I Instrumentação para o Ensino de Física II Instrumentação para o Ensino de Física III Instrumentação para o Ensino de Física IV Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado I Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado II Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado III	
19	VGPS	M	Física	2017		Álgebra Linear Cálculo I Cálculo II Física I Física II Física III Física IV Física Moderna I Geometria Analítica	Didática Libras, Educação Especial e Inclusiva* Política Educacional Brasileira Psicologia da Educação	Fundamentos Históricos, Sociológicos e Filosóficos da Educação Fundamentos Teóricos para o Estágio Curricular Supervisionado Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física I Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física II História da Física Instrumentação para o Ensino de Ciências Instrumentação para o Ensino de Física I Instrumentação para o Ensino de Física II	2022

								Instrumentação para o Ensino de Física III	
								Instrumentação para o Ensino de Física IV	
								Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado I	
								Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado II*	

Fonte: Próprio autor

Para que fosse possível a realização da pesquisa, foi necessário a elaboração e oferta de uma disciplina em caráter optativo intitulada “O Ensino da Física das Radiações Ionizantes”.

A disciplina foi apresentada primeiramente ao conselho do Departamento em Educação (Anexo II) e, após, ao conselho do curso de Física, sendo aprovada pela Comissão Permanente de Ensino (Anexo III) e pela Congregação do IBILCE (Anexo IV, V e VI).

Na ementa da disciplina constam os seus objetivos: a) Compreender aspectos teóricos e didáticos acerca do Ensino das Radiações Ionizantes; b) Contribui para a formação científica e pedagógica do futuro professor/pesquisador da área de física no que tange ao Ensino das Radiações Ionizantes; c) Possibilitar o contato dos estudantes com a Física das Radiações Ionizantes a partir de informações vinculadas nas diferentes mídias; d) Conhecer as propostas/abordagens para o Ensino da Física das Radiações Ionizantes; e) Capacitar os estudantes para a elaboração de material didático com foco no Ensino das Radiações Ionizantes.

Como conteúdos programáticos constam: a) Teoria Atômica; b) Raios X e unidades das radiações; c) Radioisótopos e o conceito de meia-vida; d) Interação da Radiação com a matéria; e) Usinas Nucleares e Acidentes nucleares; f) Proteção radiológica; g) Questões envolvendo o risco das radiações ionizantes e radioatividade; h) Concepções alternativas acerca das radiações ionizantes; i) A abordagem histórica para o Ensino das Radiações ionizantes; j) A abordagem CTSA para o Ensino das Radiações Ionizantes; k) Textos de divulgação científica no Ensino das Radiações Ionizantes; l) Filmes e documentários para o Ensino da Física das Radiações Ionizantes e; m) Elaboração de Sequências de Ensino para a Física das Radiações Ionizantes. O programa completo da disciplina pode ser visualizado no Anexo VI.

Com a aprovação, a disciplina ofertada no sétimo semestre do curso de licenciatura em física (correspondente ao primeiro semestre do quarto ano do curso). A oferta nesse período se

justifica pelo fato de os alunos já terem cursado disciplinas básicas de física, as quais tratam de aspectos relacionados à mecânica newtoniana (Física I), dos fenômenos ondulatórios (Física II), dos fenômenos eletromagnéticos (Física III) e, finalmente, das propriedades das ondas eletromagnéticas, da óptica e dos princípios de física moderna (Física IV). Além disso, entendo que a disciplina de Física Moderna I poderia ser cursada concomitantemente, uma vez que os estudantes seriam confrontados com questões relacionadas aos conteúdos trabalhados nessa disciplina.

Ainda, no sétimo semestre, os licenciandos já teriam cursado disciplinas como Didática, Libras, Política Educacional Brasileira, Psicologia da Educação, Fundamentos Teórico-Práticos para o Ensino de Física I e II, Instrumentação para o Ensino de Física I, II e III, Instrumentação para o Ensino de Ciências, Fundamentos Teóricos para o Estágio Curricular, Metodologias de Ensino de Física e Estágio Curricular Supervisionado I e II.

Como informei anteriormente, a turma contou com a participação de 20 matriculados, sendo 16 estudantes do IBILCE e um participante na qualidade de ouvinte, uma vez que ele já possui formação em física e atua na área como professor da rede estadual de educação. Esse professor soube da disciplina por meio dos estudantes que realizavam atividades na escola em que leciona, tais como Residência Pedagógica e o estágio supervisionado. O professor entrou em contato, por correspondência eletrônica, e solicitou a participação como ouvinte, com a justificativa de aprofundar seus conhecimentos a respeito da FRI.

Na proposta original, a disciplina seria ofertada no formato presencial. No entanto, em virtude da pandemia decorrente da Covid-19, ela foi ofertada no formato remoto e síncrono, sendo repensada para esse formato.

Para a oferta no formato remoto e síncrono, foram respeitadas as “Orientações gerais e critérios mínimos para reprogramação das disciplinas do Curso de Graduação em Física necessária frente à quarentena imposta pelo governo estadual para combate à COVID-19”, aprovadas pelo conselho do curso de Física (Anexo VII).

No novo formato, as aulas ocorreram de maneira síncrona, no horário previsto para ela, por meio do Skype ou GoogleMeet com a participação de todos os alunos. As atividades e textos utilizados, entendidos esses como os materiais que contém o conteúdo das aulas, estavam disponíveis no Google Sala de aula e poderiam ser acessados por aqueles que não puderam participar dos encontros síncronos. Os encontros ocorreram 01 vez por semana.

Algumas atividades, como o desenvolvimento de um dispositivo experimental, foram apresentadas de maneira expositiva. No formato presencial ele seria construído juntamente com os estudantes. Outra alteração significativa foi a da apresentação dos episódios da série

“Chernobyl”, pensada para ser exibida em um encontro, contudo solicitei aos estudantes que assistissem os episódios em suas residências, na semana anterior ao nosso encontro remoto. Essa mudança possibilitou adicionar um item no cronograma, a discussão sobre o Projeto Manhattan.

A oferta da disciplina é justificada em virtude da ausência de um curso que contemple o ensino da FRI aos estudantes da licenciatura e que esteja articulada com os conteúdos direcionados à prática pedagógica. Ademais, como pontuei no capítulo 3, a UNESP carece de uma disciplina que trate deste tópico, seja para estudantes de bacharelado ou da licenciatura em Física.

Reforço que o ensino da FRI é relevante para a formação do futuro profissional que atuará no campo da docência em física, pois é um assunto presente no cotidiano da população, apesar de muitas vezes veiculado diretamente com situações catastróficas como acidentes nucleares ou o risco iminente de uma guerra nuclear.

Neste sentido, elaborei uma proposta para o ensino da FRI a ser implementada em uma disciplina, optativa, intitulada “Ensino da Física das Radiações Ionizantes”, a qual contempla aspectos teórico-conceituais, bem como aspectos didáticos relacionados à temática em questão.

Para a elaboração da proposta, utilizei diversos documentos educacionais, bem como produções acadêmicas que abordam os aspectos teórico-conceituais da FRI e que possibilitaram o embasamento referente aos assuntos que priorizaria em um curso de 60 (sessenta) horas. No quadro 12 registro a síntese da proposta.

Quadro 12- Síntese dos conteúdos e referências bibliográficas por encontro

Encontro	Conteúdo programático	Bibliografia
01	Apresentação da disciplina, cronograma e processo avaliativo	---
02	Modelos atômicos	LONDERO, L. O modelo atômico de Bohr e as abordagens para seu ensino na escola média. Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias , v. 9, n. 1, p. 13-37, 2014.
03	Concepções alternativas acerca das radiações	BARRAGÁN, P; MORTIMER, E. F; LEAL, A. Avaliação preliminar sobre o conceito de radiação e algumas de suas tecnologias: ideias informais de estudantes do ensino médio. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS , 7, 2009. Santa Catarina. Florianópolis: ABRAPEC, 2009.
04	Raios X	MARTINS, R. A. A Descoberta dos Raios X: O primeiro comunicado de Röntgen. Revista Brasileira de Ensino de Física . 20, 373-391, 1998.

05	Radioisótopos e o decaimento radioativo	BOFF, C. A; BASTOS, R. O; MELQUIADES, F. L. Práticas experimentais no ensino de física nuclear utilizando material de baixo custo. Caderno Brasileiro de Ensino de Física . 34(1):236, 2017.
06	Interação da radiação com a matéria.	SOARES, A. A; MORAES, L. E; OLIVEIRA, F. G. Ensino de matéria e radiação no ensino médio com o auxílio de simuladores interativos. Caderno Brasileiro de Ensino de Física , v. 32, n. 3, p. 915-933, 2015.
07	Usinas nucleares e acidentes nucleares	Série Chernobyl – HBO PIASSI, L. P. C.; PIETROCOLA, M. Possibilidades dos filmes de ficção científica como recurso didático em aulas de física: a construção de um instrumento de análise. Educação e pesquisa , v.35, n.3, 2009.
08	Projeto Manhattan	SAMAGAIA, R; PEDUZZI, L. O. Q. Uma experiência com o projeto Manhattan no ensino fundamental. Ciência & Educação , v. 10, n. 2, p. 259-276, 2004.
09	Fissão e fusão nuclear; bombas atômicas e termonucleares	SCHMIDT, L; HORTA, A; PEREIRA, S. O desastre nuclear de Fukushima e os seus impactos no enquadramento midiático das tecnologias de fissão e fusão nuclear. Ambiente & Sociedade , v. 17, n. 4, p. 233-250, 2014.
10	Aplicação das radiações ionizantes	LONDERO, L; SORPRESO, T, P; MOSINAHTI, G. Notícias científicas no Ensino de Física: um estudo na formação de professores. Revista de Enseñanza de la Física . v. 27, No. Extra, p. 229-237, 2015.
11	Proteção radiológica	LUIZ, L, C; OLIVEIRA, L, F; BATISTA, R, T. O uso de ilustrações no ensino e no setor de radiologia como uma proposta para construção dos conceitos de física radiológica e radioproteção. Revista Brasileira de Física Médica . v.5, n.3:245-52, 2011.
12	A abordagem CTSA para o ensino das radiações ionizantes	RICARDO, E. C. Educação CTSA: obstáculos e possibilidades para sua implementação no contexto escolar. Ciência & Ensino , v. 1, número especial, 2007.
13	A gameificação no ensino das radiações ionizantes	CARVALHO, A, T; MENEZES, A, L, T; SILVA, L, G; MENDONÇA, M, O; CASTRO, J, N, P. Educação inovadora: jogos como alternativa para o ensino de radioatividade . Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências. 2019.
14	A perspectiva do risco no ensino da física das radiações ionizantes	BOSCO, E; DI GIULIO, G, M. Ulrich Beck: considerações sobre sua contribuição para os estudos em Ambiente e Sociedade e desafios. Ambiente & Sociedade , 18(2), 145-156, 2015.
15	Avaliação Final	---

Fonte: Próprio autor

A proposta foi construída com o intuito de abordar de maneira mais ampla o tema “Física das Radiações Ionizantes”, em um conjunto de quinze aulas, com duração de 240 minutos cada uma. De maneira geral, os alunos foram instigados a apresentar suas concepções acerca das temáticas de cada aula, em algumas situações no início da aula e, em outras, ao final da aula.

A escolha da sequência da disciplina se deu por alguns critérios como a opção de mesclar questões conceituais com didáticas. Ao mesmo tempo, atentei para que a disciplina apresentasse uma sequência similar, em relação ao conteúdo físico, àquela utilizada por Emico Okuno e Elisabeth Mateus Yoshimura na obra intitulada Física das Radiações (2010), que serviu como texto base para a elaboração da disciplina, com o início nos modelos atômicos, com passagem pelos raios X e as interações da radiação com a matéria e, por fim, as aplicações das radiações ionizantes.

A primeira aula foi destinada à apresentação da disciplina, entrega do cronograma, bem como para a explicação de que ela seria utilizada como um espaço para o desenvolvimento de uma pesquisa de doutorado. Os alunos então foram convidados a responder dois questionários, os quais encontram-se no Anexo VIII.

O primeiro questionário foi nomeado como “pré-aula”, no qual os alunos indicaram qual o seu nível de conhecimento a respeito de alguns tópicos relacionados à FRI. Com esse questionário busquei identificar quais conceitos os alunos já tiveram contato e qual o aprofundamento deles em relação a eles. Para isso, utilizei a escala Likert, empregada para medir a concordância de pessoas a determinadas afirmações ou comportamentos.

No primeiro questionário, solicitei que os participantes respondessem à três perguntas. Na primeira solicitava que eles indicassem qual o seu nível de conhecimento a respeito dos seguintes tópicos: radiação de fundo; emissão de substâncias radioativas após um acidente em uma usina nuclear; consequências diretas de uma explosão nuclear; armazenamento de lixo nuclear; enriquecimento de Urânio; irradiação de alimentos; datação de achados arqueológicos (método C-14).

Na segunda questão, expus alguns itens relacionados à temática da FRI que os participantes optariam por estudar em nossa disciplina. Eram eles: Radiação de fundo: do cosmos, alimentos, rochas, materiais de construção etc.; Aplicações médicas: usos diagnósticos e terapêuticos de raios X e radiação nuclear; Energia nuclear: emissão de substâncias radioativas, normalmente e após um acidente; Armazenamento de lixo nuclear: subterrâneo, acima do solo, no fundo do oceano; algumas aplicações da radiação ionizante na área científica e industrial; Consequências imediatas das explosões de armas nucleares; Reação em cadeia após o acionamento de uma bomba atômica. Finalmente, indaguei os estudantes sobre os anseios deles ao optar pela matrícula na disciplina.

O segundo questionário, definido como inicial, possui quatro questões e teve como finalidade apresentar situações em que a FRI estão presentes no cotidiano (reportagens, estudos

científicos ou exames clínicos) e verificar quais as concepções que os estudantes possuem sobre radiações ionizantes, contaminação radioativa e decaimento radioativo.

A primeira questão, adaptada da pesquisa de Colclough (2011), indagava os estudantes sobre um morango que é irradiado por uma fonte radioativa. Após um tempo, separa-se o morango da fonte, deixando o morango isolado. Perguntei se, na opinião deles, o morango, emitiria radiação. Os estudantes deveriam justificar as respostas. O objetivo dessa pergunta era interpretar os sentidos que os participantes atribuem à exposição de um alimento a uma fonte radioativa e se apresentaram interpretações conceitualmente adequadas ou incorretas.

Na segunda questão, solicitei que os estudantes pensassem nas seguintes situações: linhas de transmissão elétrica de alta tensão; cozinha, em que há um forno micro-ondas funcionando; uma praia paradisíaca, em um dia ensolarado; a realização de um exame de ressonância magnética; estar ao lado de uma usina nuclear; fazer uma viagem de avião. Perguntei se, nessas situações, em qual(ais) você acredita que estaria exposto a radiações? A finalidade dessa questão era interpretar se os estudantes eram capazes de indicar corretamente quais as situações as radiações ionizantes estão presentes.

Na terceira questão, solicitei que os participantes considerassem a seguinte situação: o prefeito da sua cidade anuncia que será realizado um plebiscito com o intuito dos cidadãos votarem a favor ou contra a instalação de uma usina nuclear na cidade. Qual seria o seu posicionamento? Explique. O intuito era o de interpretar os discursos produzidos referentes as suas concepções acerca das usinas nucleares e os argumentos apresentados no que tange a justificativa da instalação (ou não) de uma usina nuclear próxima a eles.

A quarta questão, obtida da obra de Cavalcanti et al. (2016), propunha aos estudantes o seguinte problema: Imagine que lhe seja dado três biscoitos radioativos: um deles emite radiação alfa, o outro beta e o outro gama. Você tem três opções, um deles você deve comer, o outro colocar no bolso e o outro segurar na mão. Qual escolha você deve fazer para se proteger ao máximo? Nesta questão, o objetivo era o de interpretar se os estudantes seriam capazes de realizar as associações corretamente, minimizando ao máximo os danos causados pelas radiações devido aos seus diferentes níveis de penetração.

A segunda aula foi destinada para a exposição de um material que apresenta um panorama completo sobre os modelos atômicos, com a identificação de diversos modelos, os quais, muitas vezes são ignorados pelos professores ou não estão contidos nas ementas dos programas de ensino. Solicitei aos estudantes que realizassem a leitura prévia do texto base proposto para essa aula. Apresentei dez modelos atômicos distintos (Demócrito e Leucipo (450 a.c); Dalton (1803); Fechner (1855); J. J. Thomson (1903); Nagaoka (1904); Nicholson (1911);

Rutherford (1911); Bohr (1913); Sommerfeld (1916); nuvem eletrônica (1923)), os quais foram explicados conceitualmente.

Para o final da aula, preparei um questionário para ser aplicado, composto pelas seguintes perguntas: Por que a maior parte das partículas alfa lançadas contra uma fina folha de ouro emergem dela praticamente sem sofrer desvio? Como pode os elementos com baixos números atômicos possuir linhas espectrais em número tão grande? Por meio destas questões, buscava interpretar os sentidos dos estudantes em relação as compreensões do modelo atômico de Rutherford e do modelo atômico baseado na densidade de probabilidade postulado por Erwin Schrödinger.

A aula de número três contemplou as concepções alternativas acerca da Física das Radiações Ionizantes. Inicialmente, forneci um questionário para verificar quais as percepções dos estudantes quanto a essa temática. As questões elaboradas para essa aula foram as seguintes: que significados você atribui aos termos irradiação, contaminação, radioatividade e radiação? Como a radiação se propaga? Essas questões foram adaptadas da obra de Eijkelhof (1990). Na sequência, apresentei algumas concepções de senso comum, bem como exemplos de concepções equivocadas apresentadas por alunos acerca das radiações e da radioatividade. Nesta aula, os estudantes tiveram a oportunidade de sanar possíveis dúvidas que surgiram, a partir das respostas ao questionário.

Na aula quatro, destinada ao estudo dos Raios X, preparei uma pergunta para ser respondida pelos participantes: Na sua opinião, atividade e dose de radiação são conceitos semelhantes? Essa pergunta teve como objetivo levantar possíveis concepções dos estudantes que seriam discutidas no decorrer da aula, na qual discuti a relevância dos raios X, partindo da natureza desses raios; passando pela contribuição de Wilhelm Röntgen, bem como a consequência dessa contribuição para Röntgen e a sua utilização. Finalizaria com as unidades do Sistema Internacional (SI) e as unidades convencionais para as radiações ionizantes, além de um questionário com as seguintes perguntas:

Durante um experimento escolar, os alunos examinam uma maçã na frente de um tubo de raios X e observaram uma imagem da maçã em uma tela. Comer a maçã depois é:

- a) Perigoso porque a maçã contém radiação.
- b) Perigoso por algum tempo, desde que a radiação na maçã seja ativa.
- c) Não é perigoso.

Em certos setores é comum compensar os funcionários por serem expostos a certos riscos. Suponha que os limpadores noturnos de um raio-X departamento de um hospital reivindicar tal prêmio pelo risco que assumem durante a limpeza do departamento à noite. Esta alegação é justificada por quê:

- a) A radiação não desapareceu completamente.
- b) O ar ainda não foi completamente purificado.
- c) Os dois motivos mencionados acima estão corretos.
- d) A reivindicação não se justifica.

A aula cinco teve por objetivo familiarizar os alunos com os conceitos de meia-vida e radioisótopo. Inicialmente, perguntaria aos estudantes qual das definições de meia-vida você considera mais apropriada.

- a) O tempo de meia vida de um elemento radioisótopo é definido como o tempo necessário para que a sua massa seja reduzida pela metade;
- b) meia-vida é o tempo necessário para que uma amostra perca metade de sua radioatividade original? Justifique.

Na sequência, apresentei conceitos como o de número atômico, número de massa, nuclídeo e radioisótopo, para que fosse possível adentrar na discussão da desintegração nuclear, na lei fundamental do decaimento radioativo e na atividade de uma amostra. Ao final da aula, proponho um segundo questionário, no qual os estudantes tiveram contato com mais três perguntas, a fim de que pudesse interpretar os sentidos a partir de uma condição de produção distinta das anteriores.

Assim, selecionei três questões para serem analisadas. A primeira foi: O que produz uma taxa de contagem mais alta em um detector de radiação: um grama de um material radioativo com meia-vida curta, ou um material com meia-vida longa?

Para a segunda pergunta, pedi que os estudantes respondessem qual das alternativas representava melhor as informações relacionadas às emissões radioativas.

- a) A emissão de uma partícula α resulta em um elemento situado em uma posição imediatamente à direita do elemento original, na tabela periódica.
- b) A radiação γ frequentemente acompanha uma emissão α ou β .
- c) Raios γ são radiações eletromagnéticas, de comprimento de onda superior ao da luz visível, cuja emissão não resulta em mudanças do número atômico ou do número de massa do elemento.

d) O decaimento α se deve à alta instabilidade do núcleo de 4He , o que faz com que este se separe facilmente de núcleos maiores.

Por fim, a terceira questão, também em formato de múltipla escolha, tratava da técnica de datação de carbono 14. A questão foi formulada da seguinte maneira: Recentemente, cientistas recuperaram DNA de ossos de mamute encontrados na Sibéria, os quais foram datados de cerca de 28 mil anos confirmada pela técnica do carbono-14. A técnica de datação apresentada no texto só é possível devido à:

- a) proporção conhecida entre carbono-14 e carbono-12 na atmosfera ao longo dos anos.
- b) decomposição de todo o carbono-12 presente no organismo após a morte.
- c) transformação do carbono-12 em carbono-14 ao longo dos anos.
- d) fixação maior do carbono-14 nos tecidos de organismos após a morte.
- e) emissão de carbono-12 pelos tecidos de organismos após a morte.

Cabe destacar que as duas últimas questões foram retiradas de uma base de dados utilizados em exame de seleção de candidatos ingressantes em universidades.

Para a sexta aula, trabalhei os conceitos relacionados à interação da matéria com a radiação, por meio dos efeitos fotoelétrico, efeito Compton e produção de pares. Para esta aula, elaborei uma pergunta em um questionário pós-aula, no qual indaguei os estudantes: qual seria sua abordagem para tentar explicar a uma pessoa leiga os riscos associados à saúde em decorrência da exposição contínua à radiação ionizante?

Meu objetivo com a pergunta era o de examinar de que maneira os discursos dos estudantes seriam construídos ao serem confrontados com uma atividade que os encorajassem a pensar a respeito de uma situação problema que envolve os efeitos discutidos em aula.

Busquei, na aula de número sete, aproximar os alunos dos conhecimentos relativos à geração de energia por meio das usinas nucleares, bem como questões associadas ao risco de acidentes dessas instalações. Para tanto, fiz uso da série televisiva intitulada Chernobyl, produzida pela emissora HBO. A série, como o próprio nome indica, faz referência ao acidente nuclear de Chernobyl, por meio da apresentação de alguns aspectos relacionados ao enriquecimento de Urânio e os procedimentos adotados pelo governo, após o acidente, bem como os danos causados pela radiação.

Os estudantes foram informados de que deveriam assistir a série e verificar situações nas quais os fenômenos relacionados a FRI são abordados e, caso surgissem inconsistências científicas ou dúvidas das situações ilustradas na série, trazer questões para a aula. A aula seria conduzida a partir das dúvidas, enviadas com um dia de antecedência ao encontro síncrono.

A aula de número oito foi reservada para abordar o Projeto Manhattan. Nesta aula, solicitaria que os estudantes respondessem um questionário prévio, composto por três perguntas:

- a) Na sua visão, era necessária a construção de uma bomba atômica assim como ocorreu no projeto Manhattan? Justifique;
- b) Existe a necessidade de construção de uma bomba atômica atualmente? Justifique.
- c) Você conhece algum cientista que participou do projeto Manhattan? Em caso afirmativo, cite pelo menos dois.

Com as duas primeiras perguntas, buscava as interpretações dos estudantes ao se posicionarem sobre a construção de artefatos nucleares em momentos distintos da história. Já com a terceira questão, o objetivo era interpretar os conhecimentos dos estudantes acerca dos cientistas que participaram do projeto Manhattan. Para a aula, selecionaria dois participantes para os quais pediria uma preparação de uma atividade, cuja finalidade consistia em um deles defender a construção da bomba atômica e o outro estudante deveria defender o ponto de vista da não-construção do artefato nuclear no período da Segunda Guerra Mundial.

O tema central da aula nove é diferenciação entre bombas nucleares e termonucleares. Para isso, utilizei um questionário prévio, composto por duas perguntas:

- a) A bomba atômica possui quatro efeitos altamente destrutivos. Quais você acredita que seriam?
- b) Quais as consequências de uma explosão de uma bomba atômica no espaço? Você acredita que seria mais destrutivo do que na Terra? Justifique.

Por meio da primeira pergunta, objetivava averiguar se os participantes seriam capazes de identificar corretamente os efeitos da radiação (bem como os demais efeitos) ocasionados em uma detonação de um artefato nuclear.

Por sua vez, por meio da segunda questão, procurava compreender se os estudantes conseguiriam expor as consequências da explosão de uma arma nuclear em uma situação atípica (vácuo).

A aula de número dez foi destinada a familiarizar os alunos com às aplicações das radiações ionizantes como, por exemplo, na área industrial (esterilização por irradiação, modificação de materiais por meio da radiação), bem como com as aplicações médicas (radioterapia e tomografia de emissão de pósitrons).

Nesta aula, os alunos seriam convidados a responder um questionário que contempla assuntos a serem discutidos no decorrer do encontro. O questionário prévio apresentava as seguintes perguntas:

- a) Quais aplicações para as radiações ionizantes você conhece?
- b) Observe a figura a seguir (figura 06). Você já a viu em algum lugar? Onde? Qual seu significado?

Figura 06: Radura



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Radura-logotipo-utilizado-para-identificar-alimento-Irradiado-USP-CENA-2005_fig2_343177982

Após a aula, solicitaria aos estudantes que respondessem a um novo questionário, relacionado a segunda parte da aula, na qual tratei da utilização de notícias científicas no processo de ensino-aprendizagem no ambiente escolar. Para tanto, foram selecionadas duas reportagens científicas relacionadas a temática das radiações ionizantes. A primeira reportagem, extraída da BBC News Brasil apresentava o seguinte título: “O polêmico plano do Japão para água radioativa da usina de Fukushima”. Segundo a matéria, o governo japonês pretendia lançar mais de um milhão de toneladas de lixo radioativo no mar provenientes da usina nuclear de Fukushima. Já a segunda reportagem selecionada, retirada do periódico português Diário de Notícias, veiculava uma reportagem com a seguinte chamada: “Fake News sobre água radioativa causam medo em Paris”. De acordo com a reportagem, uma suposta enfermeira enviou uma mensagem em um aplicativo de mensagens em que informava uma suposta "presença de titânio", que teria sido registrada nas análises à água da rede pública de Paris e que as pessoas deveriam evitar consumir a água da torneira. A partir dessas notícias, solicitei que os participantes respondessem ao questionário, composto por duas perguntas, com o qual busquei identificar aspectos presentes nos discursos dos estudantes que levassem (ou não) a utilização de notícias científicas. As questões foram as seguintes:

- a) De que maneira você utilizaria cada uma das notícias selecionadas para abordar um determinado conteúdo científico?
- b) Que aspectos devem ser levados em consideração pelos professores no momento da escolha de uma notícia?

Na décima primeira aula, trabalhei questões que envolvem a proteção radiológica e as questões relacionadas ao risco das radiações no corpo humano. Dentre os assuntos abordados, daria ênfase aos estágios da ação das radiações e da radioatividade no corpo humano, assim como os mecanismos de ação das radiações, a natureza dos efeitos biológicos, o limiar de dose e as radiações naturais.

De maneira semelhante as demais aulas, utilizei um questionário para introduzir os alunos nas discussões que ocorreriam, constituído por duas perguntas:

- a) É possível controlar as radiações externas por meio de alguns parâmetros. Na sua concepção, quais seriam esses parâmetros? Justifique.
- b) Quais os possíveis efeitos biológicos que o corpo humano está sujeito devido a exposição contínua a radiações ionizantes?

Para a décima segunda aula, preparei um material no qual procurava introduzir os alunos nas discussões acerca da abordagem CTSA, com a apresentação de sua origem e sua possibilidade de uso no ensino da FRI. Apoiei-me na produção de Ricardo (2007), a qual discute o movimento CTSA a partir de duas correntes de pensamentos:

A tradição segundo a qual os saberes da ciência e da tecnologia levam a humanidade a um futuro melhor; e uma outra corrente para a qual a ciência e a tecnologia não teriam um fim em si mesmas, mas estariam orientadas para a ação a partir de uma análise da sociedade em seus componentes históricos, sociais, políticos e econômicos (p.2)

O autor destaca que a primeira corrente caracteriza um risco social, uma vez que “se admite cada vez mais que sem cultura científica e tecnológica os sistemas democráticos se tornam cada vez mais vulneráveis à tecnocracia” (FOUREZ, 1997, p.23). À vista disso, as decisões ficariam sob responsabilidade de (supostos) especialistas, os quais atuariam (supostamente) de maneira neutra e imparcial, já que se apoiam unicamente em perspectivas técnicas e científicas. Por outro lado, a segunda corrente pretende apontar para o oposto, isto é, que a ciência e a tecnologia não seriam suficientes para decidir, apesar de que seus saberes devam ser considerados, mas sem a falsa perspectiva de serem apolíticos.

Durante a aula, o pesquisador destaca a importância do desenvolvimento e a utilização das tecnologias para a sociedade (vale ressaltar que a disciplina ocorreu em caráter remoto, durante a pandemia de Covid-19) como, por exemplo, a facilidade que o avanço nas comunicações e conexões com a internet possibilitaram a realização de conferências, reuniões, palestras e aulas. Na sequência, o pesquisador argumentou a respeito da contradição entre a facilidade entre os jovens com o manuseio das novas tecnologias e a não formação adequada

para o manuseio dessas tecnologias, formando o que Marín (2003) classifica como “analfabetos tecnológicos” que segundo o autor pode ser entendido como a pessoa que:

[...] não sabe usar equipamentos comumente usados: um videocassete ou um computador. Por sua vez, podem ser estabelecidas duas divisões de “analfabetismo tecnológico”: Total ou absoluto: é aquela pessoa que ignora completamente a gestão de um computador ou equipamento. Incluem-se também nesta categoria aquelas pessoas que resistem a aprender um sistema (tecnofobia). Relativo ou funcional: aquelas pessoas que usam rudimentarmente um computador ou equipamento, ou seja, suas funções básicas, ou melhor, uma extensão pode ser feita para uma situação particular: pessoas que aprenderam a manusear um sistema antigo e que por falta de prática não conseguem entender os novos avanços, ou aqueles que por motivos diversos (medo, inseguranças, etc.) abandonaram seus estudos. (p.3)

Em seguida, o pesquisador expôs aspectos relacionados à abordagem CTSA relacionadas à FRI, a partir da produção de Eijkelhof (1990), no qual o autor destaca que a radiação ionizante desempenha um papel importante na sociedade moderna, sendo utilizado em hospitais para diagnóstico e tratamentos, em inúmeras aplicações industriais e na agricultura, bem como seu emprego na produção de armas nucleares e na construção de usinas nucleares. Alguns desses campos de aplicação evocam uma grande quantidade de debate público (WEART, 1988), por exemplo sobre o armazenamento de resíduos nucleares, a construção de novas usinas nucleares e as questões relacionadas às armas nucleares.

A partir dessa explanação, o pesquisador apresentou uma questão para os alunos que estavam presentes na aula: Acidentes com fontes radioativas muitas vezes levam a manchetes. Quanta ênfase é dada ao ensino de ciências às aplicações da radiação ionizante e às questões que surgem nesses debates públicos?

Na décima terceira aula, abordaria o ensino da FRI por meio da gamificação. Nessa aula, propus a apresentação das características e diferenças entre jogo e brincadeira.

A partir de uma rápida pesquisa, foi possível identificar poucos trabalhos que versam a respeito de jogos educativos relacionados à radioatividade. Dentre eles, podemos citar as produções de Carvalho et al. (2019); Sales et al. (2021); Gomes, Sousa e Brito (2021); Almeida e Vianna (2022). Um aspecto comum a todos os trabalhos é que são todos relacionados à disciplina de química.

Com uma proposta de jogo direcionado para o ensino de radioatividade para estudantes do Ensino Médio, Carvalho et al. (2019) pretendiam construir conhecimento por meio de atividades que não exigisse conhecimento prévio do jogador, mas que o mesmo passasse a adquiri-lo por meio da atividade. Dessa maneira, o jogo foi desenvolvido com base nas regras

e estrutura de *Scotland Yard*, jogo de tabuleiro que simula investigações, no qual os jogadores, seguindo as pistas, precisam encontrar o que é pedido de acordo com o caso a ser desvendado.

Sales et al. (2021) aplicaram o jogo “jornada radioativa” que consistia em um jogo de tabuleiro cujo vencedor era aquele jogador que chegasse ao final primeiro. O jogo foi trabalhado com duas turmas de segundo ano do Ensino Médio no colégio de aplicação da Universidade Federal do Acre. Ao final, os pesquisadores solicitaram que os estudantes citassem situações do cotidiano que poderiam ser explicadas a partir dos conceitos de radioatividade envolvidos no jogo. De acordo com os pesquisadores, aproximadamente 56% dos participantes expressaram, por meio das respostas, não possuir domínio sobre o assunto, mesmo depois de terem tido contato com esse conteúdo por meio de aula teórica e do contato com o jogo. Notou-se ainda que a representação que os estudantes possuem da radioatividade está pautada, principalmente, no “Raio-X”, principal resposta apresentada pelos participantes.

Com o objetivo de apresentar uma proposta de atividade lúdica com foco na abordagem CTSA para o ensino da radioatividade no Ensino Médio, Gomes, Sousa e Brito (2021) elaboraram um jogo de tabuleiro intitulado “AlfaQuim”, sendo os participantes da pesquisa professores de Química da educação básica. O tratamento dado ao jogo buscou investigar aspectos da natureza e história da ciência, assim como aspectos relacionados à abordagem CTSA. De acordo com os autores, os professores apontam que o jogo pode possibilitar a aprendizagem dos alunos sobre o fenômeno da radioatividade vinculado ao conteúdo das disciplinas de Física, Química e História.

Com enfoque na abordagem CTSA, Almeida e Vianna (2022) elaboraram e aplicaram com estudantes do ensino superior o jogo de tabuleiro intitulado “Coleta Certa”, no qual discutem o conceito de meia-vida para o decaimento radioativo usando a relação entre a meia-vida e o monitoramento de rejeitos radioativos. De acordo com os autores, o jogo se mostrou eficaz na sua implementação, já que pode ser utilizado como instrumento de ensino investigativo e lúdico com enfoque em CTS e, por conseguinte, propiciou uma alfabetização científica.

Nosso jogo foi embasado na produção de Carvalho et al. (2019) e consistiu em três problemas em que fornecíamos entre seis e sete pistas para que os estudantes conseguissem resolver o problema. O jogo se desenvolveu da seguinte maneira:

- Como tratava-se de um jogo de investigação os jogadores deveriam seguir as pistas, e encontrar o que era pedido.
- As dicas eram apresentadas uma de cada vez, com um intervalo médio de um minuto;
- Como foi uma atividade remota, os alunos deveriam pedir a palavra para arriscar um palpite;

- Venceria quem desvendasse o caso primeiro!

Por meio da décima quarta aula, objetivei inserir os alunos nas discussões acerca da perspectiva do risco, com a apresentação do conceito de risco proposto pelo sociólogo alemão Ulrich Beck, uma vez que na aula de número dez discuti a proteção radiológica e os possíveis danos das radiações ao corpo humano. Para tanto, preparei os primórdios dos estudos sobre risco, a perspectiva do risco para Ulrich Beck e o risco associado à FRI. Semelhante as aulas anteriores, iniciaria o encontro com o uso de um questionário para introduzir os estudantes nas discussões conceituais a serem abordadas. As questões foram:

- a) O que você entende por risco? De que maneira ele pode afetar nossas vidas?
- b) Em uma aula anterior analisamos os limites de tolerância recomendada para a exposição à radiação. Você considera que esses níveis são seguros, ou seja, se ficarmos expostos até a 3,3 mSv em um ano isso acarretará algum tipo de risco à saúde? Justifique.

Para a décima quinta (e última) aula, preparei a avaliação final da disciplina, na qual solicitei, aos estudantes, a elaboração de um plano de aula e a sua apresentação. O plano deveria abordar o ensino da FRI para o Ensino Médio. O tempo máximo de apresentação seria de 1 hora-aula, cerca de 50 minutos) e dividiria a turma em duplas. Os estudantes poderiam usar diferentes metodologias/abordagens/recursos, e incluir diferentes tópicos/assuntos (desde que previamente selecionados, a fim de que não houvesse várias duplas apresentando o mesmo assunto).

Ao final, apresentaria aos estudantes algumas reflexões sobre a disciplina, lembrando que a proposta de disciplina era contemplar discussões dos aspectos teórico-conceituais de um assunto pouco ou sequer explorado no Ensino Superior, sobretudo em cursos de licenciatura em Física.

Com vistas a suprir a falta de uma disciplina de FRI no currículo da Física Licenciatura, tentei abordar, de maneira mais ampla, essa temática em um conjunto de quinze aulas, com duração de 240 minutos cada uma, com a combinação de aspectos teórico-conceituais e questões pedagógicas, tais como uso de notícias, emprego de textos de divulgação científica, abordagens como CTSA etc.

Finalmente, no que diz respeito à avaliação final, busquei um instrumento que pudesse avaliar o aprendizado dos estudantes. Por meio da solicitação da elaboração de um plano de ensino os licenciandos poderiam utilizar os conhecimentos adquiridos na disciplina, bem como aqueles obtidos em outras disciplinas com as quais eles já tiveram contato.

4.5 A COLETA DOS DADOS – O USO DE QUESTIONÁRIOS E GRAVAÇÕES DAS AULAS

Para desenvolver um estudo com a participação de humanos, estudantes do curso de Física Licenciatura, submeti o projeto de pesquisa para análise do Comitê de Ética da Faculdade de Ciências da Unesp/Bauru, sob o código 47713021.9.0000.5398, o qual foi aprovado em 12 de novembro de 2021 (Anexo XIX).

Com a aprovação, os participantes da disciplina foram convidados a participar da pesquisa. No primeiro encontro, apresentei o objetivo da pesquisa, suas contribuições e riscos, bem como os demais esclarecimentos para que eles aceitassem ou não a participação. Aqueles que aceitassem a proposta assinariam o TCLE (Termo de Consentimento Livre e Esclarecido), cujo modelo encontra-se no Anexo X. O termo foi lido pelos estudantes e, após, solicitei que, aqueles que aceitassem participar, enviassem o TCLE assinado por e-mail com um texto registrando o aceite. Todos os estudantes concordaram em participar.

Cabe destacar que também procuramos seguir as Orientações para procedimentos em pesquisas com qualquer etapa em ambiente virtual contidas no Ofício Circular nº 2/2021³ divulgado pela Comissão Nacional de Ética em Pesquisa.

Diante disso, utilizamos como principal instrumento de recolha de dados os questionários com as respostas dadas pelos estudantes em atividades durante as aulas ministradas.

De acordo com Gil (2008), um questionário pode ser definido como uma técnica de investigação constituída por um conjunto de questões que são submetidas a um grupo de indivíduos com o propósito de obter diferentes informações, tais como crenças, sentimentos, aspirações, conhecimentos, expectativas, comportamento etc.

De forma semelhante, Cervo e Bervian (2002, p. 48) definem o questionário como “[...] um meio de obter respostas às questões por uma fórmula que o próprio informante preenche”. O questionário pode ser elaborado com questões abertas e/ou fechadas. As questões abertas possibilitam respostas mais ricas e variadas enquanto as fechadas permitem maior facilidade na tabulação e análise dos dados.

Dentre as vantagens que identifiquei para o uso de questionários, em detrimento a outras técnicas de coleta de dados, destaco que eles permitem “[...] identificar a população alvo, as variáveis principais do estudo e o tipo de investigação a desenvolver” (HILL, 2014, p. 134).

³ https://conselho.saude.gov.br/images/Oficio_Circular_2_24fev2021.pdf

Marconi e Lakatos (2010) também discorrem quanto às vantagens do uso de questionários, a saber: garantia de anonimato das respostas; menores custos associado ao emprego desta técnica e maior alcance do número de participantes da pesquisa.

Optei por questionários que contemplassem questões abertas e fechadas. Entendo que as questões fechadas serviram para que pudesse quantificar certas amostras que eram de interesse do estudo e que foram exploradas a partir de gráficos apresentados nos resultados. Por sua vez, o interesse pelas questões abertas se deu pela possibilidade de registro dos discursos apresentados pelos participantes.

Gil (2008) assegura a viabilidade de realizar pré-testes para certificar a qualidade das perguntas propostas dentro de uma pesquisa. Denominados como pré-testes, esses questionários são realizados com um pequeno grupo de pessoas, com o mesmo perfil da realidade investigada, como propósito de ajustar as questões que serão utilizadas à realidade investigada.

Em nosso estudo, realizamos um pré-teste com os integrantes do grupo de pesquisa, uma vez que os sujeitos que compõe esse grupo são alunos de graduação e/ou pós-graduação. A aplicação teve como intuito validar as perguntas dos questionários que seriam utilizados. Os questionários foram elaborados a partir do desenvolvimento de perguntas inéditas, além de perguntas já validadas em outros trabalhos acadêmicos.

Ainda, por vezes utilizei a gravação das aulas, as quais foram gravadas por meio do recurso “Gerenciar Gravação” do Google Meet. Os participantes tinham a liberdade de deixar as câmeras ligadas ou desligadas. Porém, como o sinal de internet de muitos estudantes não era de boa qualidade, eles optaram por deixar as câmeras fechadas. Os microfones somente eram ligados quando os estudantes solicitavam a palavra. Destaco que os slides utilizados nas aulas foram disponibilizados aos estudantes e estão na plataforma Google Classroom.

Após a exposição da natureza da pesquisa, da instituição e dos participantes da pesquisa, bem como da técnica de coleta de dados, apresento na próxima seção uma breve exposição sobre o referencial analítico desta tese: a Análise do Discurso.

4.6 CONSIDERAÇÕES ACERCA DOS ELEMENTOS DA ANÁLISE DO DISCURSO

A Análise do Discurso (doravante AD) constitui-se de uma disciplina que envolve três campos do conhecimento: a linguística, a psicanálise e o marxismo. Dessa maneira, ela se estabelece como um dispositivo complexo e ao mesmo tempo completo. Complexo, pois engloba aspectos dessas três áreas e completo por acrescentar o caráter questionador à

linguística que conjectura a linguagem, mas que ao mesmo tempo suprime o que é sócio-histórico. A AD questiona as Ciências Sociais na medida em que elas não ponderam a materialidade da linguagem em suas produções (ORLANDI, 2010). A AD vai mostrar que a linguística e o sócio-histórico se concatenam de modo construtivo, caracterizando-se em uma nova área do conhecimento.

Segundo Orlandi (1994), a AD tem sua égide na reflexão que produz sobre o sujeito e o sentido, uma vez que considera que ao significar o sujeito se significa. Assim, a AD propõe uma maneira de pensar sujeito e sentido entrelaçados. O sujeito não é senhor de si mesmo, todavia não é estático e poderá se deslocar de uma posição para outra, sendo interpelado pela língua e pelo contexto histórico no qual está inserido.

Não tenho como objetivo esmiuçar os aspectos intrínsecos da linguística (tampouco possuo formação para isso), mas objetivo discutir e apresentar as características da AD, ancorando-me em Eni Orlandi, do ponto de vista das relações estabelecidas entre a linguagem e os processos sócio-históricos, que irão culminar nas características de análise.

Como dispositivo analítico, a AD estabelece processos de significação que trabalham o texto, sendo possível compreender a maneira como o texto produz sentidos por meio de seus mecanismos de funcionamento. Nessa perspectiva, a língua para a AD não se reduz ao jogo do significante abstrato, sendo necessário que ela se inscreva nas questões sócio-históricas. Dentro dessa concepção, apresentarei alguns desses processos de significação que dão forma a AD, utilizados nas análises desta tese, são eles: o discurso; o sujeito; a formação discursiva; o interdiscurso; as condições de produção; a memória discursiva; a autoria, a textualidade e a repetição.

O **discurso**, segundo Orlandi (2010, p. 77), possui algumas definições, tais como “conjunto de enunciados que derivam da mesma formação discursiva”; “uma prática complexa e diferenciada, obedecendo a regras e transformações analisáveis”; “regularidade de uma prática” ou, ainda, “efeito de sentidos entre locutores”, trazendo em si as marcas da articulação da língua com a história para significar.

É a partir do discurso que é possível verificar a relação existente entre a linguagem e a ideologia, uma vez que o discurso na AD não é apenas transmissão de conhecimento, mas efeito de sentido entre os interlocutores (ORLANDI, 2011). A autora destaca que ocorrem efeitos que resultam da relação de sujeitos simbólicos que participam do discurso, sem se esquecer do fato de que o lugar de fala dos interlocutores deve ser levado em consideração, já que a historicidade e a formação discursiva são aspectos relevantes para a construção do discurso. Não há discurso

sem sujeito, nem sujeito sem ideologia. O efeito ideológico elementar é o que institui o sujeito (ORLANDI, 1994).

Althusser (1980), ao desenvolver sua obra “Ideologia e os Aparelhos Ideológicos do Estado”, aponta para o fato de que o indivíduo “transforma-se” em **sujeito**, ou seja, agente de sua própria prática social, ao ser interpelado por uma determinada ideologia. Orlandi (2010) destaca que essa interpelação acontece por meio das relações humanas que podem ocorrer por meio da família, dos amigos ou das instituições (propagandas, discurso pedagógico etc.) e que desencadearão nas formações ideológicas de cada sujeito, como sistema de evidências e de significações. Constituído por uma determinada ideologia, esse sujeito, de acordo com Orlandi (1994), passa a ser pensado em uma perspectiva na qual as ideias de sujeito e sentido se misturam, distanciando-se tanto do idealismo subjetivista (sujeito individual) como do objetivismo abstrato (sujeito universal).

Dessa combinação entre sujeito e discurso emerge a noção de **formação discursiva**. Quando falamos em formação discursiva – a partir da perspectiva althusseriana no âmbito ideológico – falamos de uma conjuntura da construção de um determinado discurso, determinando o que se pode e o que deve ser dito.

De acordo com Pêcheux (1995, p. 188), a formação discursiva é “aquilo que pode e deve ser dito (articulado sob a forma de uma arenga, de um sermão, de um panfleto, de uma exposição, de um programa, etc.) a partir de uma posição dada na conjuntura social”. Visto dessa maneira, a formação discursiva está atrelada a noção de assujeitamento, ou seja, é determinada pelas posições ideológicas que estão em jogo no processo sócio-histórico, no qual as palavras, expressões, proposições são produzidas (ORLANDI, 2010, p. 17).

As formações discursivas se constituem em uma relação entre a língua e a ideologia, as quais afetam a constituição do sujeito e do sentido, interpelado por diferentes ideologias (políticas, sociais, religiosas etc.). Um conjunto de formações discursivas, segundo Orlandi (2010), acarretará um conjunto de relações complexas dos usos da linguagem que levará Pêcheux a definir um novo conceito: o interdiscurso.

Orlandi (2007) define o **interdiscurso** como o mecanismo responsável por determinar a formação discursiva, ou seja, “o discurso de um sujeito”. Nas palavras da autora:

A noção que se trabalha a exterioridade discursiva (ou exterioridade constitutiva) é a de interdiscurso. O que define o interdiscurso é a sua objetividade material contraditória, objetividade material essa que, como diz M. Pêcheux (1988) reside no fato de que algo fala sempre antes, em outro lugar e independentemente, isto é, sob a dominação do complexo de formações ideológicas. E é isso que fornece a cada sujeito “a sua ‘realidade’

enquanto sistema de evidências e de significações percebidas-aceitas-experimentadas.” (ORLANDI, 2007, p. 39)

Nessa mesma linha, a autora cita que nesse momento, o processo de organização do discurso se torna explícito a partir de mecanismos como a memória, o domínio do saber e os discursos já ditos, nos quais o sujeito se apropria de outros dizeres que garantem a caracterização dos sentidos. E é pelo funcionamento desse conceito (o interdiscurso) que o sujeito não é capaz de reconhecer seu assujeitamento ao Outro, tomando para si a autoria do discurso ou mesmo ao considerando o discurso como autônomo. Assim, podemos entender que todo o discurso deriva de outro discurso anterior, ou seja, todo discurso é repetição de outro discurso predecessor.

Por sua vez, as **condições de produção**, na visão de Orlandi (1988, 2010), situam a linguagem como transformadora, ou seja, não limita o discurso a um simples instrumento de transmissão de informação. As condições de produção estabelecem os sentidos pelo sujeito, a partir de uma perspectiva sócio-histórica. Para Almeida, Machado e Silva (2001), as condições de produção são características básicas do canal de comunicação mobilizadas pelos sujeitos, de maneira consciente ou inconsciente, no decorrer do processo de elaboração de um determinado discurso. Dessa maneira:

[...] nos diferentes discursos que são produzidos nos processos de ensino e de pesquisa expressam-se relações não unívocas entre linguagem, pensamento e mundo. E, como a proposta básica da análise de discurso é considerar a relação da linguagem com a exterioridade, ou seja, com as condições de produção do discurso, importa responder questões como, qual é a relação entre o falante e o ouvinte e qual o contexto em que cada um fala. Nas condições de produção, como assinala Pêcheux (1990), estão presentes formações imaginárias, isto é, imagens que o falante tem de si próprio e de seu ouvinte. (2001, p. 9).

Partindo do pressuposto de que a AD trabalha com o sentido, com o discurso definido pela história e pela ideologia, a AD entende que apenas realizará uma nova interpretação ou uma releitura. Dessa maneira, todo discurso é reproduzido a partir das condições de produção imediatas, ou seja, do lugar de fala na qual se encontra o enunciador do discurso (embora isso possa causar uma falsa sensação de autonomia). Essa posição na qual se encontra o enunciador acaba por obrigá-lo (mesmo que implicitamente) a submeter-se às condições de produção impostas pela ordem superior estabelecida.

No nível da interdiscursividade interna, um aspecto da AD está intrinsecamente relacionado à formação discursiva: trata-se da **memória discursiva**. Segundo Brandão:

É a memória discursiva que torna possível a toda formação discursiva fazer circular formulações anteriores, já enunciadas. E ela que permite, na rede de formulações que constitui o intradiscurso de uma FD, o aparecimento, a rejeição ou a transformação de enunciados pertencentes a formações

discursivas historicamente contíguas. Não se trata, portanto, de uma memória psicológica, mas de uma memória que supõe o enunciado inscrito na história. (2004, p. 95-96)

Os efeitos de memória, de acordo com a autora, podem ocorrer tanto como lembrança, quanto como esquecimento. Mobiliza-se, assim, no interior da AD, a noção de memória discursiva. Essa noção implica o estatuto histórico do enunciado inserido nas práticas discursivas reguladas por aparelhos ideológicos de Estado. É na tensão entre esquecimento e retomada que vive a memória, já que, segundo Orlandi (2001, p. 22) “não há sujeito sem ideologia”. É possível constatar que a partir dessa premissa que não há sujeito sem memória, porque essa é a égide de sua identidade; assim como não há discurso advindos do nada, porque pela memória se fazem os possíveis sentidos.

Outro elemento importante na AD é o de **Autoria**. Ao expor a noção de autoria, Orlandi (2010) enfatiza que a função discursiva do autor, ao lado da função enunciadore (na perspectiva em que o *eu* se constrói no discurso) e locutor (quando o sujeito se representa pelo eu no discurso), é aquela em que o eu se apresenta na qualidade de produtor de linguagem.

Em outra obra, Orlandi (2007) reforça a ideia de autor como o sujeito responsável pelo agrupamento do discurso, sendo, assim, o responsável direto pelos sentidos que o texto produz. Visto dessa perspectiva, a autora entende que o princípio de autoria se realiza toda vez que o produtor do discurso se coloca em sua origem, ou seja, é como se produzisse algo “original”, dotado de coerência, progressão, unidade e conclusão, possibilitando estabelecer uma relação direta entre sujeito/autor, assim como na AD correlacionam-se as noções de discurso/texto.

Ainda segundo a autora (ibidem), o sujeito só se transforma em autor se o que ele produz for passível de interpretação, produzindo um evento interpretativo de seu discurso. Vale destacar que ela ratifica que a produção textual de um autor se constitui pela **repetição**. Por esse ponto de vista, Orlandi (2001, p. 36) apresenta que toda repetição remete a uma “mexida nas redes de filiação dos sentidos”, mexida essa que só é possível, portanto, a partir de um já-dito. Orlandi (2007) distingue a repetição discursiva em três grupos:

- a) a repetição **empírica**, exercício mnemônico que não historiciza,
- b) a repetição **formal**, técnica de produzir frases, exercício gramatical que também não historiciza,
- c) a repetição **histórica**, a que inscreve o dizer no repetível enquanto memória constitutiva, saber discursivo, em uma palavra: interdiscurso. Este, a memória (rede de filiações), que faz a língua significar. É assim que sentido, memória e história se intrincam na noção de interdiscurso (ORLANDI, 2007, p. 70).

Isto nos leva a afirmar que a constituição do autor supõe a repetição. O registro do dizer na repetição histórica é que traz para a questão do autor a associação com outra noção da AD: a **interpretação**.

Orlandi (2007) caracteriza a interpretação como um “gesto” (na perspectiva discursiva entendida como “ato”), à altura do simbólico. Tal gesto se dá devido à incompletude do simbólico, marcado pelo seu vínculo ao silêncio. Sob a concepção da autora, a interpretação tem uma relação estrutural com a materialidade da linguagem, constituindo diferentes gestos de sentidos devido a noção de ideologia, na qual a interpretação torna-se “materializada” graças ao processo de historicidade na qual tanto o analista se fundamenta, quanto o sujeito. Essa atribuição de sentidos, de acordo com Orlandi (2010), possibilita mostrar que a linguagem é não transparente, ou seja, que o discurso apresenta uma determinada opacidade, de modo que o trabalho do analista de AD não é atribuir sentidos e sim evidenciar como um objeto simbólico produz sentidos.

Concatenada à noção de interpretação está a noção de textualidade. A noção de **textualidade** passa pela significação, aja visto que as palavras por si só não significam. Dentro dessa noção de textualidade, para que um texto apresente textualidade é necessário que a sua interpretação derive de um discurso que seja capaz de sustentá-lo e que essa sustentação se faça a partir da relação entre os sentidos e os significados de cada autor (ORLANDI, 2004).

Ao se admitir a materialidade da linguagem e sua não transparência, Orlandi (2010) identifica a necessidade de um dispositivo para ser ter acesso a ela. São dois tipos de dispositivos: o **dispositivo teórico de interpretação** e o **dispositivo analítico de interpretação**.

O primeiro constitui-se a partir da compreensão de conceitos que alicerçam a AD, tais como a percepção do discurso como efeito de sentidos, a formação discursiva, a formação ideológica, o interdiscurso etc. Ele direcionará o analista para estudar e analisar o funcionamento discursivo, fazendo com que o leitor passe de uma leitura superficial (ou tradicional) para uma leitura sintomática, ou seja, uma leitura que relaciona um objeto simbólico (o dizer) com outros dizeres, possibilitando a produção de outros sentidos (ORLANDI, 2010).

Já o segundo tipo de dispositivo (o analítico) é aquele no qual cada analista constrói a partir de cada análise específica. Esse dispositivo irá depender, dentre outras coisas, segundo Orlandi (2010) da questão do analista, ou seja, em qual dispositivo ideológico o analista se pauta para realizar sua análise, da natureza do material analisado, do objetivo do analista e da região teórica em que se inscreve o analista (linguística, história, antropologia, literatura etc.).

Orlandi (2008) ainda destaca que o papel do analista não é compreender como texto produz sentidos, mas quais os gestos de interpretação apresentados em determinado discurso, já que o discurso é materializado a partir das condições de produção, da ideologia, da memória discursiva e do lugar social de que os sujeitos falam, pois é fator determinante na construção deste discurso. Tais fatores jamais podem ser desconsiderados pelo analista ao realizar suas análises discursivas.

Faz-se necessário a correta compreensão da AD para que, conseqüentemente se faça o uso adequado, enquanto dispositivo analítico. Nas palavras de Orlandi (1989), o analista de discurso não deve se prender exclusivamente a examinar o maior número de aspectos, conceitos e dados de um determinado discurso. De acordo com a autora, isso, por si só, não acarretará uma compreensão satisfatória do processo discursivo a ser analisado, embora estejam atrelados de maneira indireta. Orlandi (1989) destaca que uma boa análise é realizada por meio da reflexão sobre conceitos pertinentes AD e pela sua estrutura em certos parâmetros metodológicos que se destinam a certificar uma leitura não-subjetiva do discurso no qual se debruça o analista. Para a autora, o que se exige é essa sustentação teórica e metodológica e a compatibilidade entre o recorte dos dados com os objetivos a que a análise se propõe.

Por fim, destaco que Orlandi (2008) retratou nossa sociedade como uma sociedade pautada em diferentes modos de difusão de informações, imersos numa grande quantidade de símbolos e isso faz com que os sentidos contidos nos discursos se tornem cada vez mais complexos de serem diferenciados.

Nessa perspectiva, a autora aponta para a necessidade de mudança das maneiras de como o sujeito se move nos trajetos da significação, uma vez que as condições de significar também estão se transformando na sociedade atual.

Perante essa ponderação, entendo que a função da AD, enquanto dispositivo analítico, deve estar centrado na natureza e no funcionamento da linguagem, sem se esquecer de que esse funcionamento não depende exclusivamente da linguística, uma vez que dele fazem parte outros aspectos citados nesse estudo como as ciências das formações sociais e os aspectos histórico-sociais que permeiam os sujeitos envolvidos no processo discursivo.

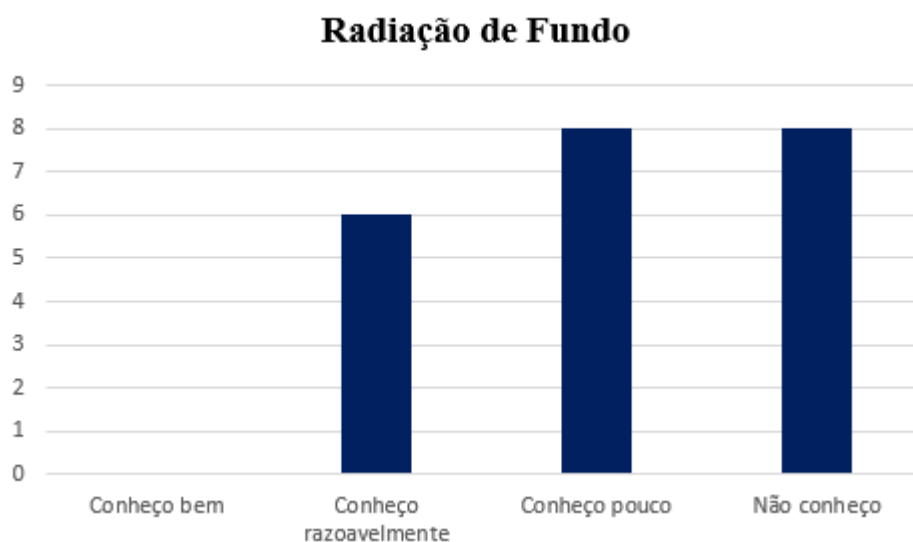
CAPÍTULO 5. RESULTADOS DAS ATIVIDADES IMPLEMENTADAS

Neste capítulo apresentarei o relato das análises realizadas a partir das implementações ocorridas durante a disciplina. Cabe ressalva que em algumas aulas não ocorreu a aplicação de questionários (aula sete e quinze), nas quais solicitei atividades específicas. No que diz respeito as análises, investigamos as respostas de quase todos os estudantes (com exceção de T.A.S.S), pelo menos uma vez, durante o percurso deles na disciplina, a fim de verificar os sentidos e as interpretações desses sujeitos. Dessa maneira, as análises serão apresentadas em quinze tópicos, referentes a cada uma das aulas. Quanto as respostas, selecionei aquelas que puderam ser analisadas sob a perspectiva da AD, uma vez que alguns estudantes possuem a capacidade de sintetizar demasiadamente suas respostas.

5.1 A AULA 01 – PRÉ-AULA E QUESTIONÁRIO INICIAL

O primeiro questionário, identificado como “pré-aula” tinha como objetivo identificar o nível de conhecimento a respeito de alguns tópicos relacionados à Física das Radiações Ionizantes que foram previamente selecionados. Os dados obtidos por meio do formulário eletrônico estão sistematizados nos gráficos a seguir.

Gráfico 01: Nível de conhecimento prévio dos estudantes a respeito do tema “radiação de fundo”



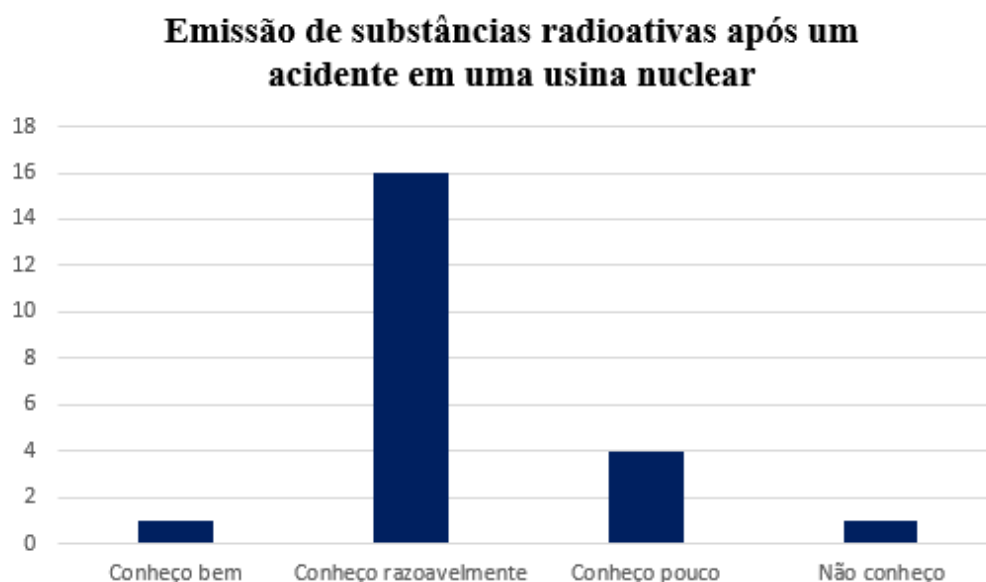
Fonte: próprio autor

Ao confrontarmos nossos dados com os obtidos por Eijkelhof (1990) é possível

observarmos que os dados divergem significativamente, uma vez em nosso questionário prévio a maioria dos estudantes (72,7%) indicaram que não conhecem ou conhecem muito pouco a respeito das radiações de fundo. Em contrapartida, no trabalho de Eijkelhof (1990), a maioria dos alunos parecia ter noções sobre a presença de radiação de fundo no ambiente, muitos deles associando esse tipo de radiação com o sol, bem como de materiais como rochas e materiais de construção. Cabe ainda que o próprio pesquisador destaca em sua produção que por se tratar de uma entrevista com um grupo pequeno (cinquenta e nove estudantes) que se encontravam na faixa dos quinze anos de idade, que esses estudantes podem ter fornecido respostas inventadas às perguntas realizadas durante a entrevista, já que algumas perguntas ficaram sem respostas. Assim, o pesquisador reafirma que qualquer comparação entre os contextos é necessariamente provisória e não pode ser considerada como uma conclusão final sobre as ideias dos alunos.

Acerca do segundo aspecto, indicado no gráfico 02, solicitamos que os estudantes informassem qual seu nível de conhecimento a respeito da emissão de substâncias radioativas logo após um acidente nuclear.

Gráfico 02: Nível de conhecimento prévio dos estudantes a respeito do tema “emissão de substâncias radioativas após um acidente em uma usina nuclear”



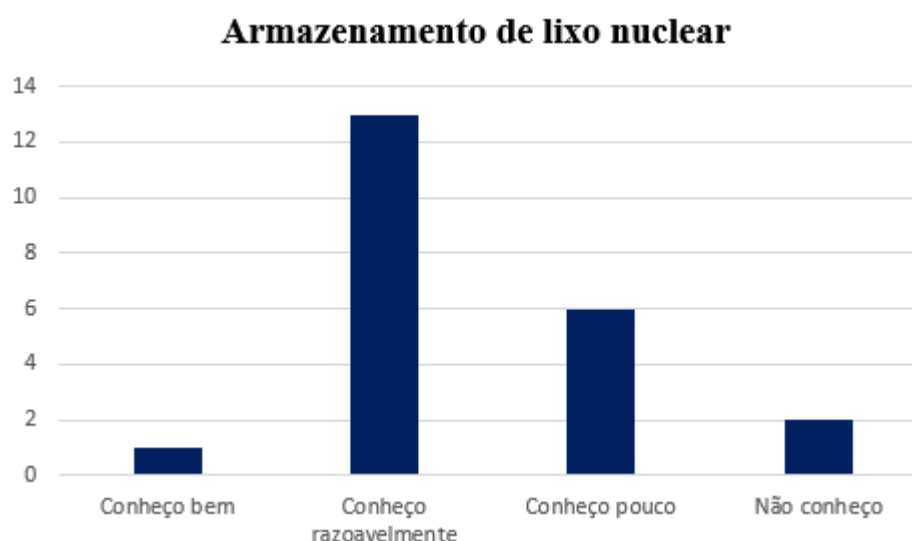
Fonte: próprio autor

De acordo com os próprios estudantes, em sua grande maioria (72,7%) consideram que seu conhecimento é razoável quanto a esse tópico. Embora o trabalho de Eijkelhof (1990) não discuta o quantitativo de alunos que possuíam conhecimento prévio acerca desse tópico, o autor apresenta algumas concepções de estudantes quanto a emissão de substâncias radioativas após

um acidente em uma usina nuclear. De acordo com o autor alguns estudantes acreditavam que durante o acidente da usina de Chernobyl foram liberados no ar "radiação (radioativa), substâncias radioativas, partículas radioativas, partículas ativas, partículas de poeira, radioatividade, resíduos nucleares e água de resfriamento" (EIJKELHOF, 1990, p.74). Do ponto de vista conceitual, podemos considerar que, a partir dos discursos dos estudantes o conhecimento deles comparado com os nossos participantes é equivalente, uma vez que apresentam informações incompletas ou equivocadas.

Constatamos que a maior parte (54,5%) dos estudantes diz conhecer razoavelmente questões relacionadas ao armazenamento de lixo nuclear. Nessa questão, assim como nas demais, buscávamos compreender se os estudantes possuíam alguma familiaridade com os temas selecionados segundo suas próprias experiências tanto acadêmicas, quanto sociais. Diferentemente do que nosso levantamento constatou (conforme apresentado no gráfico 03), Eijkelhof (1990) expõe que a maioria dos estudantes dos Países Baixos já ouviu falar de lixo radioativo. Além disso, os estudantes consideram os resíduos radioativos são perigosos e quando questionados, a maioria dos alunos se opôs ao armazenamento deste tipo de lixo em sua vizinhança pela possibilidade de acidentes ou porque "algo sempre vai passar". Aqui ainda cabe reforçar que o trabalho de Eijkelhof (1990) foi desenvolvido durante o acidente nuclear de Chernobyl e que não só a Holanda, mas boa parte dos países da Europa tem na energia nuclear uma de suas maiores matrizes de produção de energia elétrica.

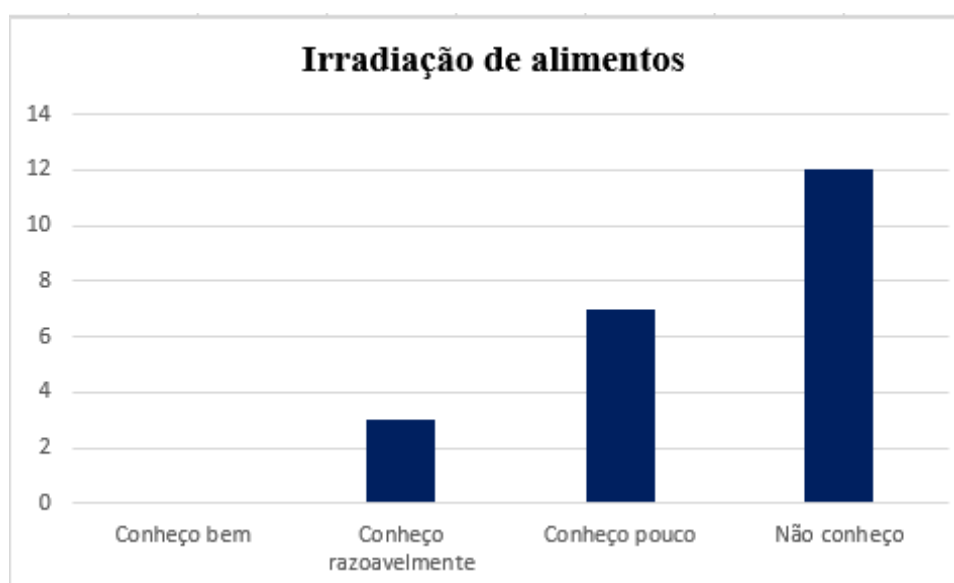
Gráfico 03: Nível de conhecimento prévio dos estudantes a respeito do tema “armazenamento de lixo nuclear”



Fonte: próprio autor

A questão subsequente tratou de levantar qual a familiaridade com a irradiação de alimentos (gráfico 04). Segundo as respostas dos nossos estudantes, a grande maioria (cerca de 54,5%) respondeu não ter qualquer conhecimento sobre a utilização dessa técnica. Esse dado é corroborado com os dados coletados por Eijkelhof (1990), o qual aponta que os estudantes tinham ouvido falar a respeito da irradiação de alimentos. Os que mencionaram terem algum conhecimento apresentavam ideias equivocadas sobre o papel da irradiação nos alimentos, como por exemplo, para promover o crescimento, bem como de que maneira a irradiação ocorre (muitos apontavam que era em decorrência da explosão de Chernobyl ou devido a uma explosão nuclear). O autor ainda apresenta que somente uma pequena parcela dos estudantes tinha conhecimento da utilização da irradiação para preservar alimentos, com o intuito de torná-los menos perecíveis.

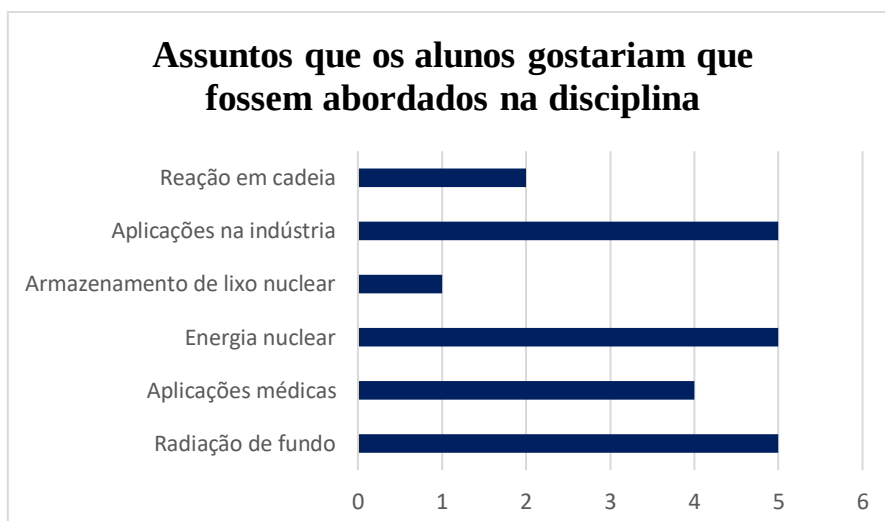
Gráfico 04: Nível de conhecimento prévio dos estudantes a respeito do tema “irradiação de alimentos”



Fonte: próprio autor

Em seguida, solicitamos aos estudantes que indicassem quais dos seguintes assuntos listados seria escolhido para ser estudado nessa disciplina. (gráfico 05). As opções mais escolhidas pelos estudantes foram radiação de fundo, aplicações da radiação na área industrial e energia nuclear (22,7%).

Gráfico 05: Assuntos que os alunos gostariam que fossem abordados na disciplina



Fonte: próprio autor

Nosso interesse com esses dados foi o de observar se nosso curso atenderia às predileções dos participantes (o que de fato não se cumpriu em sua totalidade, visto que em nosso curso não abordamos o assunto “radiação de fundo”). Cabe destacar que esse mesmo questionário foi utilizado na produção de Eijkelhof (1990) e que, de acordo com o autor não houve grande distinção entre os sexos quanto aos seus interesses prévios. Todavia, o autor destaca que no decorrer do estudo a maior parte das garotas demonstrou grande interesse pelo capítulo relacionado à saúde, enquanto os garotos expressaram afinidade pelos capítulos que discutiam sobre energia nuclear e armas nucleares. Seu trabalho aponta na direção de que os meninos possuem maior inclinação a se interessar mais por assuntos técnicos referentes a armas nucleares e energia nuclear, ao passo que as meninas optaram por temas relativos à de terapia contra o câncer. É interessante observar que existem discrepâncias com os nossos dados apresentados no quadro 13.

Quadro 13: Assuntos que os alunos gostariam que fossem abordados na disciplina por sexo

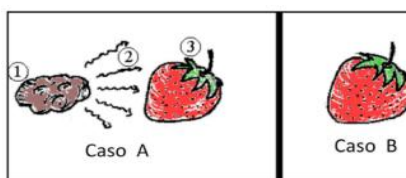
	Masculino	Feminino
Radiação de fundo	5	---
Aplicações médicas	3	1
Energia nuclear	2	3
Armazenamento de lixo nuclear	1	---
Aplicações na área industrial	4	1
Reação em cadeia	1	1

Fonte: próprio autor

Foi possível observar que metade da distribuição parte das mulheres apresentaram maior interesse no item “energia nuclear”. Já os homens demonstraram maior interesse pelo assunto “radiação de fundo”. Uma possibilidade para essa divergência pode estar no fato de que houve um aumento do número de mulheres formadas em ciências naturais (física, química e biologia) conforme apontam os estudos de Cunha et. al (2014) e Bolzani (2017). Segundo Cunha et. al (2014) ao questionar estudantes sobre “ser um cientista”, a pesquisadora constatou que, das cinco regiões brasileiras avaliadas, em duas delas (sul e centro-oeste) as mulheres foram maioria quanto à intenção de seguir a carreira científica, todavia, esses valores ainda são considerados pelas pesquisadoras como muito baixos e nada animadores quando se pensa no papel da mulher na atual sociedade.

O segundo questionário com o qual os estudantes tiveram contato (intitulado questionário inicial) teve como objetivo levantar as primeiras concepções acerca dos mais variados tópicos relacionados à Física das Radiações Ionizantes. Nesse questionário, composto por cinco questões, buscamos identificar como se dá a construção de sentidos pelos estudantes quanto aos seguintes assuntos: irradiação de alimentos, exposição às radiações ionizantes, posicionamento quanto à construção de uma usina nuclear nas proximidades das suas residências e o conhecimento acerca do poder de penetração dos diferentes tipos de radiação (alfa, beta e gama). Destacamos que os nomes dos participantes foram preservados com o intuito de evitar possíveis constrangimentos e que a pesquisa foi encaminhada ao comitê de ética do instituto.

Quanto à irradiação de alimentos, a questão expõe uma situação onde uma fruta é irradiada por uma fonte radioativa. Em seguida, perguntamos aos estudantes se o morango seria capaz de emitir radiação.



Onde:

- 1 representa a fonte radioativa,
- 2 representa a radiação,
- 3 o morango.

A seguir são apresentadas algumas respostas:

Sim, pois todo o corpo que absorve radiação emite radiação! (O. V. S)

Sim, uma vez que o mesmo está sendo irradiado. Talvez o morango não transmita de forma como a fonte, mas ainda sim irá transmitir radiação. (L. Z. L. V)

Sim emitira, penso que o mesmo motivo que não se pode comer alimentos que nasceram em Chernobyl, são perigosos e continuam emitindo radiação (M. C)

Não, pois o morango não absorveu o material radioativo, ele sofreu apenas irradiação. (B. B. F)

O morango não emitira radiação, pois radiação não se acumula, apenas gera efeitos químicos no corpo irradiado, neste caso a radiação irá, possivelmente, destruir microrganismos que poderiam ser prejudiciais ao morango, podendo até alterar algumas propriedades químicas do mesmo, mas nada prejudicial, e muito menos radioativo. (L. A. C)

Se o morango for contaminado com o material emissor de radiação ele será perigoso, caso contrário o morango não emitirá radiação, mas poderá perder propriedades como gosto, cor ou formato. (G. M. G)

No que diz respeito às respostas dos estudantes, é possível observar que aqueles que responderam de maneira afirmativa a questão, apresentam interpretações equivocadas quanto ao conceito de absorção da radiação, irradiação e contaminação radioativa, bem como dos efeitos biológicos das radiações. Essas interpretações corroboram com as análises realizadas por Eijkelhof (1990). Embora tenha realizado uma pesquisa com alunos da educação básica, é possível observar aspectos convergentes em ambas às situações. O autor identificou concepções equivocadas a respeito da absorção da radiação como na situação em que metade dos estudantes relataram que, ao realizar um exame de raio-X, a radiação permaneceria no corpo. Ainda segundo o autor, um aluno relatou que a radiação se acumula no corpo e, em seguida, é filtrada no sangue, o que ocasiona uma alta concentração de radiação no organismo. Outro estudante argumentou que “quando você recebe um certo tipo de radiação em seu corpo, não é perigoso, mas se fosse do lado da comida, seria perigoso” (EIJKELHOF 1990, p.79).

Um aspecto interessante presente nas respostas selecionadas é o fato de que o estudante O. V. S. se apropria em sua resposta de um discurso científico e conceitualmente aceitável. Entretanto o estudante ressignifica o conceito de irradiação e consequentemente reinterpreta-o de maneira inadequada, uma vez que ele deve ter resgatado a ideia de radiação térmica, aquela que é emitida por um corpo devido à sua temperatura. Segundo a termodinâmica, todo corpo emite radiação térmica para o meio que o cerca, e dele a absorve, até que se estabeleça o equilíbrio térmico. A partir do equilíbrio, as taxas de emissão e de absorção de energia são iguais.

Tanto a resposta de B. B. F quanto à resposta do aluno L. A. C podem ser consideradas como respostas corretas. Entretanto, a resposta de L. A. C é uma resposta mais completa. Nela, o estudante consegue relacionar corretamente os conceitos atrelados à interação da radiação com a matéria. Já a resposta de M.G pode ser considerada parcialmente correta, uma vez que ele impõe uma condição (se a fruta for contaminada com material radioativo); entretanto o estudante não deixa evidente se essa contaminação ocorreria por meio da propagação ou não das radiações que partem do material radioativo. Partindo dos pressupostos da AD, Orlandi (2004) aponta que o processo de organização do discurso se torna explícito a partir de mecanismos como a memória, o domínio do saber e os discursos já ditos, nos quais o sujeito se apropria de outros dizeres que garantem a caracterização dos sentidos. Entretanto, como a questão da língua é complexa, a construção de um dado discurso não se restringe a fatores imediatos. Partindo do pressuposto de que a AD trabalha com o sentido, a AD entende que apenas realizará uma nova interpretação ou uma releitura.

No que diz respeito à exposição à radiação ionizante, perguntamos aos estudantes que analisassem algumas situações e em quais dessas situações eles estariam expostos às radiações. Os resultados são apresentados no gráfico 06.

Gráfico 06: Respostas dos estudantes quanto às situações em que poderiam ou não estarem expostos à radiação ionizante.



Fonte: próprio autor

É interessante notar que só existem duas opções nas quais os estudantes estariam sujeitos à exposição contínua de radiação ionizante: em uma ilha, em um dia ensolarado e durante uma viagem de avião. Nas demais situações, não há nenhuma possibilidade dos participantes estarem expostos a radiações ionizantes, embora a maioria tenha considerado todas as possibilidades como situações plausíveis. Na primeira situação, as linhas de transmissão de alta tensão apresentam radiações não ionizantes que são radiações de baixa frequência e baixa energia, as quais são transmitidas por meio de uma onda eletromagnética. É provável que os estudantes tenham considerado as linhas de transmissão como fontes de exposição à radiação ionizante uma vez que existem inúmeras controvérsias acerca dos efeitos em longo prazo causado pela radiação não ionizante. Kuster (2011) aponta em sua dissertação que;

A grande controvérsia em torno dos efeitos nocivos à saúde causados pelos campos eletromagnéticos de baixa frequência diz respeito aos efeitos de longo prazo. Estes efeitos seriam supostamente causados por exposições a baixos níveis de campos durante vários meses ou até mesmo anos. Os supostos danos à saúde seriam doenças crônicas, como câncer, mal de Alzheimer, disfunções sexuais e doenças reprodutivas. (2011, p.28)

Ainda segundo o autor, em razão da origem dessa polêmica, um estudo foi realizado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), com o intuito de averiguar as consequências de uma exposição por um longo período a campos elétricos e magnéticos com baixas amplitudes. Segundo os dados obtidos pelos estudos da Comissão Internacional de Proteção Contra a Radiação Não Ionizante (ICNIRP) foi possível constatar que exposições a radiações não

ionizantes acima de $4,35 \text{ W/m}^2$ podem acarretar (dependendo da potência e da frequência do campo, assim como do tempo de exposição): catarata, queimaduras, alterações em válvulas cardíacas e marca-passos, acidente vascular cerebral, além de parada cardíaca e má formação fetal. Contudo, vale a ressalva de que a Lei federal 11.934/2009 estabelece que os limites de exposição humana aos campos elétricos devem obedecer a parâmetros fixados pela OMS.

A terceira questão discorreu acerca do posicionamento dos estudantes quanto a construção de uma usina nuclear nas proximidades das suas residências. Essa questão não levou em consideração aspectos técnicos para a construção de uma usina nuclear (como, por exemplo, a presença de um lago, rio ou qualquer outra fonte considerável de água utilizada no processo de geração de energia); uma vez que nosso objetivo era analisar quais os sentidos que os estudantes possuíam quanto a presença da usina nuclear próxima a suas residências. A seguir são apresentadas algumas respostas:

Meu voto seria contrário, pois temos um grande risco de um acidente nuclear, o que poderá prejudicar as minhas gerações por anos e anos, assim como no Japão, além disso, os animais que dependem das águas dos rios, sofreriam exposição a essa radiação, o que poderia prejudicar a qualidade do meu alimento. (B. S, grifo nosso)

Uma usina nuclear traz muitos riscos a população local, apesar de todo o avanço que pode proporcionar para tal cidade. Entretanto ainda seria contra, visto que os riscos acabam por ser maiores que os benefícios, e se algo de terrível acontece, como vazamento de radiação, muitas vezes é necessário evacuar a cidade. (L. Z. L. V, grifo nosso)

A favor. Acredito que todos os cuidados para a construção e o funcionamento devam estar de acordo com a lei, então o perigo de alguma contaminação não é tão grande. É uma ótima fonte de energia, traria um grande crescimento a cidade. (J. C)

Se for tecnologia atualizada e bem vistoriada, seria a favor da instalação da usina. Pois, é uma boa fonte de energia que traz vantagens e poucas desvantagens, desde que não sejam negligenciados os cuidados necessários com o descarte do lixo tóxico, com os funcionários e com a própria usina. (E. D. B)

Destacamos que, dentre as dezoito respostas obtidas, a maioria dos estudantes se posicionou contrária à instalação das usinas nucleares. Os dois primeiros discursos expõem

alguns pontos que servem para reafirmar a posição dos enunciadores. É possível notar que em ambos os discursos existe a preocupação com a radiação; no primeiro discurso referindo-se a possibilidade de exposição, enquanto no segundo ao risco de vazamento de radiação através da usina. Orlandi (2004) expõe que;

Para que uma palavra faça sentido é preciso que ela já tenha sentido. Essa impressão do significar deriva do interdiscurso – o domínio da memória discursiva, aquele que sustenta o dizer na estratificação de formulações já feitas, mas “esquecidas”, e que vão construindo uma história dos sentidos. (p.71)

Nos dois discursos é perceptível que a oposição a instalação da usina nuclear se dá, principalmente, em relação ao medo, o qual provavelmente está associado as catástrofes difundidas em veículos de informação. Um resultado similar foi observado em trabalhos como os de Ribeiro Junior (2007); Kiiper (2011); Aquino e Chiaro (2013); Jesus, Silva, Oliveira (2016); Lucena et al. (2017) e Gombrade (2018). Em todas as produções é nítido para os autores que há um predomínio quanto a incompreensão dos estudantes em relação a energia nuclear. Kiiper (2011) exhibe uma posição conservadora do público brasileiro quanto as usinas nucleares, uma vez que as crenças do povo brasileiro estão relacionadas a fatores como o conhecimento adquirido sobre energia nuclear, suas experiências e a percepção comparativa entre os riscos e os benefícios de instalação de uma usina nuclear, o que leva a população a imaginar que é iminente a possibilidade de acidentes dessa natureza. Ademais, Eijkelhof (1990) expõe que as informações fornecidas pelos jornais não deixavam claro a diferenciação entre os termos contaminação e irradiação após o acidente nuclear em Chernobyl, o que tornou difícil para todos os leitores, sejam especialistas ou leigos, interpretar as informações fornecidas pelos jornais impressos.

Quanto aos estudantes que se posicionaram favoráveis as instalações nucleares, Kiiper (2011) indica que aqueles que possuem uma posição favorável à instalação de usinas nucleares são os especialistas dessa área por possuírem um conhecimento técnico acerca do funcionamento das instalações, assim como por entenderem que os riscos de acidentes são extremamente baixos. Embora os estudantes que responderam ao questionário ainda não possuam seus diplomas, é inegável que já possuem uma trajetória dentro da universidade que os permitiu em outras disciplinas o contato com essa temática. O autor ainda destaca que o público não especializado possui a tendência de se opor as instalações nucleares uma vez que são impulsionados pelas emoções, sobretudo pelo medo associado a artefatos atômicos e a desastres em usinas nucleares ocorridos no passado.

A quarta questão diz respeito ao conhecimento dos estudantes acerca do poder de penetração dos diferentes tipos de decaimento (alfa, beta e gama). Sugerimos aos estudantes que, se caso possuísssem três biscoitos radioativos (um deles emitindo radiação alfa, o outro, radiação beta e outro com radiação gama). Eles teriam três opções: um dos biscoitos precisaria ser comido, o outro colocado no bolso, e o último ficaria em suas mãos, de modo que as escolhas deveriam ser feitas com o propósito de se proteger ao máximo. A seguir exibimos as respostas de dois estudantes:

Como biscoito com a radiação beta, seguro na mão o biscoito com a radiação alfa, e guardo no bolso com a radiação gama. Uma vez que as radiações alfa e gama são mais perigosas, logo não comeria nenhuma delas. (L. Z. L. V)

Para me proteger ao máximo, devo: comer o biscoito que emite radiação alfa, guardar o biscoito que emite radiação gama no bolso e segurar o biscoito que emite radiação beta na mão. Visto que, a radiação gama é que consegue penetrar mais eficazmente no organismo e, por isso, deve ser colocada em um local mais distante possível. O biscoito que emite radiação alfa deve ser ingerido, pois é a radiação que menos penetra (em distância) nos tecidos. Já a radiação beta, por ser a intermediária (entre a alfa e a gama, no sentido de distância penetrada) deve ser segurada na mão. (E. D. B)

Seguraria o que emite partículas alfa pois são pouco penetráveis, colocaria no bolso o biscoito que emite partículas beta, por serem pouco mais penetráveis, e comeria o que emite radiação gama, pois a radiação gama atravessaria meu corpo de qualquer maneira, e no estômago posso desfazer esse biscoito, não sobrando mais partículas radioativas, pois era radiação na forma de ondas. (L.A.C)

Dentre as três respostas (e dos demais participantes), a única que estava correta foi a de L. A.C, uma vez que em seu discurso é possível notar não só a noção quanto ao poder de penetração dos diferentes tipos de decaimento, quanto do entendimento de que, mesmo a radiação gama possuindo maior poder de penetração, o melhor a se fazer nessa situação hipotética seria realizar a sua ingestão, já que mantê-lo fora do organismo não trará nenhuma vantagem do ponto de vista de absorção. Já a radiação oriunda do decaimento alfa possui poder de penetração menor, sendo facilmente barrada na palma da mão e finalmente a radiação beta,

por possuir um poder de penetração intermediário, poderia ser obstruída (mesmo que parcialmente) pela roupa.

As duas primeiras respostas são tidas como incorretas. No primeiro discurso, L. Z. L. V sugere uma alternativa que, segundo seu discurso, se dá em decorrência de acreditar que as radiações alfa e gama são mais perigosas do que a radiação beta. Entretanto sua resposta não revela de que maneira esses decaimentos seriam mais perigosos. Além disso, se partimos da premissa do discurso anterior, seria mais interessante ingerir o biscoito com maior poder de penetração, uma vez que ele será capaz de afetar de qualquer distância o organismo. Segundo Silva, Campos e Almeida (2013), a confusão quanto ao poder de penetração dos diferentes tipos de decaimento se deve ao fato de que a partícula alfa é considerada uma partícula com um poder de ionização elevado, porém com um baixo poder de penetração, ao contrário das radiações gama que apresentam maior poder de penetração e são pouco ionizantes. O mesmo se observa em um trecho do discurso de E. D. B que, diferentemente do estudante anterior, possui um conhecimento um pouco maior quanto ao poder de penetração quando consegue identificar corretamente os diferentes poderes de penetração dos respectivos decaimentos. Contudo, sua conclusão quanto a tomada de decisão entre os biscoitos alfa e gama é incorreta, pois, como já citado anteriormente, o ideal seria que o biscoito com decaimento gama fosse ingerido, uma vez que ele será capaz de penetrar o organismo em qualquer outra das duas situações (na mão ou no bolso).

Identifiquei, a partir das respostas que os estudantes consideram seus conhecimentos razoáveis na maioria dos itens o que corrobora a tese defendida por Alsop (2001) na qual o autor aponta que internacionalmente, a alfabetização científica e a compreensão pública da ciência tornaram-se slogans da recente da reforma curricular em diversos países como, Austrália, Canadá e Reino Unido. Ainda segundo o pesquisador supracitado;

Dada a recente ênfase curricular na relevância, a compreensão pública da ciência e da alfabetização científica, em áreas afetadas pelo radônio, os alunos podem explorar a questão local do radônio na sala de aula. Na verdade, um relatório governamental recente incentiva os professores a incluir o radônio como parte do currículo de ciências e em estudos livres. Parte do raciocínio por trás desta recomendação é que os alunos podem fornecer uma maneira bem-sucedida de transmitir informações para seus pais. (ALSOP, 2001, p.265)

O segundo questionário prévio entregue aos estudantes reforçou a necessidade da construção dessa disciplina voltada a cursos de licenciatura em física, uma vez que foi possível identificar que algumas ideias apresentam interpretações equivocadas quanto ao conceito de

absorção da radiação, irradiação e contaminação radioativa, bem como dos efeitos biológicos das radiações. Dessa maneira, argumentamos a favor de uma formação adequada para os licenciandos em Física, a fim de minimizar erros conceituais e prepará-los para trabalharem esses conceitos quando estiverem aptos a lecionarem nas escolas da educação básica.

5.2 A AULA 02 – MODELOS ATÔMICOS

A aula dois correspondeu a exposição de diversos modelos atômicos elaborados durante a história da humanidade, desde Leucipo até o modelo mais atual proposto a partir do desenvolvimento da mecânica quântica. Nessa aula, foi aplicado um questionário após a aula em que indagamos os estudantes como os elementos químicos com baixos números atômicos possuem linhas espectrais de emissão em número tão grande? Abaixo apresentamos algumas respostas.

Sabendo-se que o número de emissões é equivalente ao número de transições eletrônicas possíveis, entende-se que não é relacionado ao número de elétrons do átomo. Os elétrons tem um número característico de transições possíveis, e cada uma pode levar a uma emissão distinta. Cada elétron pode fazer diversos tipos de transição, daí a quantidade de linhas de emissão. (J. C, grifo nosso)

Devido as várias possibilidades dos "saltos" quânticos conforme vimos com algumas das séries apresentadas nas aulas; Balmer, Lyman e Paschen (G. P.A, grifo nosso)

Isso pode ocorrer porque o elétron da camada mais externa pode pular de camadas ao receberem energias em quantidade específica. Caso haja uma quantidade específica de energia sendo oferecida para o átomo, ele pode absorver essa energia e liberar na forma de luz. Dependendo das quantidades de energia oferecida, o átomo pode absorver alguns valores de energia predefinidos. (R. K. H, grifo nosso)

Porque as camadas são as mesmas para todos os átomos. Então, mesmo com poucos elétrons, os saltos podem ser feitos para camadas "maiores", emitindo fótons em níveis superiores das linhas espectrais. (M. V. B, grifo nosso)

Essa questão foi elaborada para verificar o conhecimento dos estudantes acerca da utilização do modelo atômico mais atual, segundo o qual o elétron ocupa os orbitais (regiões na eletrosfera do átomo em que a probabilidade de se encontrar o elétron é maior). Nesse modelo, o tamanho do número atômico não possui relação com o número de linhas espectrais tanto de emissão quanto de absorção, mas sim com os orbitais que poderão ser preenchidos. O estudante J.C foi capaz de observar que não existia uma relação direta entre o número atômico e as linhas espectrais, provavelmente por ser um dos estudantes do curso de química.

As demais respostas apresentam pelo menos algum erro conceitual. Segundo R. K. H e M. V. B seus modelos se aproximam mais do modelo proposto por Bohr do que o modelo atual, já que se referem a camadas e a quantidades de energia bem definidas, o que está de acordo com os postulados de Bohr que visavam esclarecer os motivos pelos quais o elétron não colapsava para o núcleo do átomo. M. V. B ainda destaca que “as camadas são as mesmas para todos os átomos” o que é um equívoco pois, ainda que utilizássemos como referência o modelo de Bohr, a medida em que as camadas aumentam, aumenta também o seu raio, pois maior é a distância em relação ao núcleo atômico. Quando analisamos da perspectiva da mecânica quântica esse raciocínio é ainda mais singular já que as “camadas” representam as soluções da equação de onda de Schrödinger. Essa interpretação pode ser compreendida à luz dos riscos da utilização de analogias e metáforas no ensino de ciências. Segundo Bachelard (1996, p.101) “o perigo das metáforas imediatas para a formação do espírito científico é que nem sempre são imagens passageiras; levam a um pensamento autônomo; tendem a completar-se, a concluir-se no reino da imagem”. O autor ainda destaca que a utilização da metáfora não seria tão preocupante se ela tivesse a única função de expressar um dado fenômeno ou explicitar um conceito abstrato. Contudo, Bachelard aponta que a utilização de metáforas e o uso de analogias são prejudiciais, uma vez que elas são interiorizadas pelo estudante e se mantêm como uma ideia consolidada e permanente.

Podemos traçar um paralelo com a noção de interdiscurso, o qual Orlandi (1992) expõe da seguinte maneira:

O interdiscurso é o conjunto do dizível, histórica e linguisticamente definido. Pelo conceito de interdiscurso, Pêcheux nos indica que sempre já há discurso, ou seja, que o enunciável (o dizível) já está aí e é exterior ao sujeito enunciator. Ele se apresenta como séries de formulações que derivam de enunciações distintas e dispersas que formam em seu conjunto o domínio da memória. Esse domínio constitui a exterioridade discursiva para o sujeito do discurso. (p.89- 90)

Assim, o interdiscurso atua como um instrumento associado a memória do sujeito, conduzindo-o para uma determinada apropriação de sentidos. Para M. V. B a sua interpretação quanto ao tamanho das órbitas pode estar diretamente relacionada a um já-dito anteriormente (provavelmente no Ensino Médio), resultado de uma inadequada utilização da analogia mencionada anteriormente por Bachelard e que se manteve presente em seu discurso.

G. P. A por sua vez tenta responder utilizando-se de um dos conceitos discutidos em aula (as séries de Balmer, Lyman e Paschen). Embora essas séries representem corretamente o comportamento dos espectros de emissão elas não foram adequadamente empregadas para responder a pergunta.

Cabe ainda destacar que G. P. A; R. K. H e M. V. B recorrem ao termo *salto* ou *pulo*, enquanto J.C se utiliza do termo *transição eletrônica*. De acordo com Orlandi;

Todo texto é heterogêneo (E. Orlandi, 1987) do ponto de vista de sua constituição discursiva: ele é atravessado por diferentes formações discursivas, ele é afetado por diferentes posições do sujeito, em sua relação desigual e contraditória com os sentidos, com o político com a ideologia. As diferentes formações discursivas regionalizam as posições do sujeito em função do interdiscurso, este significando o saber discursivo que determina as formulações. (2008, p.115)

Essas diferentes formações discursivas podem estar relacionadas, entre outras coisas, com a questão do Letramento Científico (LC). Segundo Cachapuz et al. (2008), o LC alude ao seu equivalente *scientific literacy*, termo em inglês adotado em meados dos anos sessenta e que tinha como objetivo concentrar-se nos estudantes que não pretendiam seguir a carreira científica e que deveriam adquirir conhecimento quanto as terminologias científicas, de modo a se adequar as novas tecnologias que estavam advindo da corrida espacial. Do ponto da nossa análise, podemos inferir que J.C possui maior domínio quanto aos termos técnicos do que os seus colegas. Isso pode se dar devido ao fato desse estudante ser um dos participantes da disciplina oriundo do curso de química e conseqüentemente já ter tido maior contato com disciplinas que envolvem terminologias mais técnicas relacionadas a estrutura fundamental da matéria.

A segunda pergunta analisada nessa aula diz respeito ao experimento de Rutherford, o qual incidiu sobre uma fina camada de ouro um feixe de partículas alfa. Questionamos os estudantes sobre o porquê a maior parte das partículas alfa lançadas contra uma fina folha de ouro emergem dela praticamente sem sofrer desvio? A seguir apresentamos algumas respostas:

Isso ocorre porque a maior parte do átomo é espaço vazio, então as partículas alfas atravessariam a folha de ouro sem sofrer desvio. Já as partículas alfas que sofreram leve desvio foram devido ao fato dos núcleos possuírem cargas positivas. (L. A. C, grifo nosso)

A eletrosfera é dividida em 7 órbitas, que possuem energia fixa que aumenta proporcionalmente com sua distância do núcleo. A eletrosfera é bem maior que o núcleo do átomo, a relação de tamanho entre eles varia de 10.000 a 100.000 vezes. A maior parte das partículas alfa emerge da folha de ouro praticamente sem sofrer desvio, pois, o átomo é formado em sua maior parte por espaços vazios. (B. B. F, grifo nosso)

Devido a distribuição homogênea da carga do átomo. (O. V. S)

Foi possível observar nas respostas dos estudantes L. A. C e B. B. F a utilização do termo espaços vazios, bem como termos similares para descrever que a radiação alfa atravessou a lâmina de ouro sem sofrer grandes desvios em sua trajetória. Consideramos que a disposição desses termos se deve ao fato de que eles estão presentes no discurso do professor, apresentado a seguir:

“Como grande parte da radiação alfa atravessou a lâmina de ouro sem nenhum tipo de dificuldade, isso quer dizer que os átomos apresentavam grandes espaços vazios, que é a chamada eletrosfera, ou seja, regiões que não possuíam nada capaz de influenciar a radiação alfa”. (professor, grifo nosso)

Dessa maneira, consideramos que ambos os estudantes se apropriaram da chamada repetição formal, a qual segundo Orlandi (1998, p.14) “[...] já é uma elaboração da forma abstrata da língua, e temos nesse caso o que em geral é considerado um bom aluno: ele repete com outras palavras”. Não consideramos, contudo, que a utilização da repetição formal seja algo ruim, pois;

Isso quer dizer que é impossível ao autor evitar a repetição já que sem ela seu enunciado não faria sentido, não seria interpretável. Ele tem, pois, de se inscrever no repetível. No entanto ele o faz de forma particular instaurando um lugar de interpretação no meio dos outros. A repetição é assim, para o autor, parte da história e não mero exercício mnemônico. Inscrevendo sua formulação no interdiscurso, na memória do dizer, o autor assume sua posição

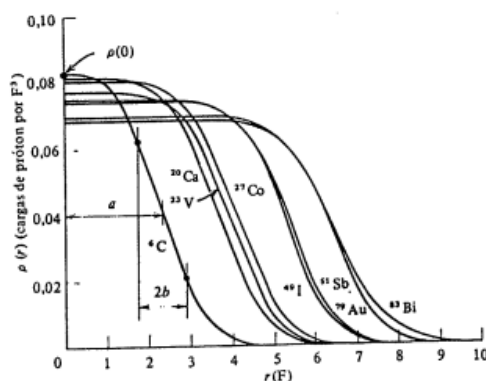
de autoria, produzindo um evento interpretativo, ou seja, o que faz sentido. (ORLANDI, 1998, p.13)

Outro aspecto relevante para nossa análise se deve ao fato do discurso de B. B. F apresentar que “A eletrosfera é dividida em 7 órbitas, que possuem energia fixa que aumenta proporcionalmente com sua distância do núcleo”. Embora estivéssemos tratando de um modelo que foi pautado do ponto de vista clássico, o grande equívoco que o estudante comete é relacionar o número de camadas que compõe a eletrosfera e a quantidade de energia fixa de cada camada com a teoria do modelo atômico de Rutherford, já que esses conceitos só foram inseridos no modelo atômico de Bohr, dois anos depois. De acordo com Peduzzi e Basso;

E exatamente a aguda contradição entre a instabilidade radiativa do átomo de Rutherford, decorrente da eletrodinâmica clássica, e a evidência química e física da estabilidade das estruturas atômicas e moleculares que sugerem a Bohr a impossibilidade do entendimento desse sistema no âmbito exclusivo da física clássica. Considerando que a constituição do átomo é governada pelo quantum de ação, Bohr impõe condições específicas ao átomo de Rutherford, desenvolvendo a sua teoria (2005, p.548)

Já o discurso de O. V. S apresenta um erro conceitual grave ao afirmar que ocorre uma distribuição homogênea de cargas no núcleo. Embora essa questão quanto a distribuição das cargas do núcleo não ter sido trazida pelo professor durante as aulas, consideramos relevante para o trabalho final apresentar essa resposta a fim de explicitar possíveis questões associadas à temática dos modelos atômicos. De acordo com Eisberg e Resnick (2006) a densidade de carga no interior do núcleo é proporcional à densidade de massa do núcleo. Assim, cada átomo apresenta sua própria distribuição de cargas, conforme a figura 07.

Figura 07: gráfico de distribuição de cargas de diferentes núcleos atômicos



Fonte: Eisberg e Resnick (2006, p. 651)

Cabe ainda destacar que se o discurso de O. V. S se referisse a distribuição de cargas elétricas em um mesmo átomo sua resposta ainda estaria incorreta, uma vez que é possível observar que existe uma variação da distribuição de cargas no núcleo ($\rho(r)$) decresce à medida que o raio atômico aumenta.

5.3 A AULA 03 – CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SOBRE RADIAÇÃO E RADIOATIVIDADE

Na terceira aula exploramos algumas concepções prévias que acreditávamos que os estudantes poderiam apresentar quando confrontados em nosso questionário preliminar a aula três. A opção por elaborar um questionário prévio ocorreu a partir dos pressupostos de Eijkelhof (1990). De acordo com o autor:

Esperamos que os alunos frequentemente adquiram suas ideias a partir desse tipo de discussão. Consideramos essas fontes de ideias importantes por vários motivos: 1. seria útil saber mais sobre possíveis ideias leigas antes de estudar as noções particulares de alunos, pois isso nos prepararia para o tipo de noções que podem ser esperadas; 2. seria importante saber quais ideias leigas existem, a fim de obter percepção da contribuição potencial da influência social para a persistência de algumas ideias. Portanto, decidimos investigar primeiro que tipo de ideias sobre radioatividade e radiação ionizante os alunos podem ter em situações de comunicação. (p.48)

Assim, ao realizarmos um questionário prévio sobre concepções alternativas permitiria entender melhor quais as concepções nossos estudantes possuíam acerca dos tópicos que seriam trabalhados durante todo o curso. O movimento das concepções alternativas, segundo Driver (1989), é pautado na ideia de modelos científicos que estão por trás do raciocínio dos estudantes. Contudo, alguns desses modelos apresentam falhas conceituais, o que acarreta uma concepção equivocada sobre a interpretação da natureza. Dessa maneira, o estudo do movimento das concepções alternativas tem como objetivo identificar essas concepções e buscar superá-las uma vez que essas interpretações incorretas são resistentes a qualquer tipo de mudança e podem acompanhar os estudantes mesmo em sua jornada acadêmica.

Nessa aula abordamos especificamente a temática do movimento das concepções alternativas (desde sua gênese nos anos setenta até suas principais características) direcionada ao conteúdo das radiações ionizantes. Selecionamos duas perguntas desse questionário a fim de realizarmos nossas análises. A primeira questão indagava os estudantes sobre quais

significados eles atribuíam aos termos irradiação, contaminação, radioatividade e radiação? A seguir estão dispostas algumas respostas:

Radiação: Energia emitida por uma partícula; Irradiação: Radiação emitida por um corpo; Contaminação: Transmissão de elementos prejudiciais aos seres vivos ou ao meio; Radioatividade: Propriedade de um elemento de emitir radiação. (B. B. F)

irradiação seria a propagação da radiação, contaminação seria a exposição de algum elemento não natural a um meio, radioatividade seria a emissão de partículas de um elemento instável até que ele alcance a estabilidade, radiação seria um processo de emissão de energia de algum elemento. (J.C)

Para a análise dessa pergunta, lidaremos com cada conceito separadamente. Iniciaremos nossa análise seguindo a ordem proposta na questão. Assim, partiremos do conceito de irradiação. É possível observar nas respostas apresentadas pelos nossos estudantes que existe uma associação direta entre irradiação e transmissão de energia. De acordo com Possenti (2009) quando Pêcheux (1969, p.82) expõe que o termo discurso “[...] não se trata necessariamente de uma transmissão de informação entre A e B, mas de modo mais geral, de um efeito de sentidos entre os pontos A e B”, notamos que há uma certa vontade de alguns analistas do discurso de transformar essa teoria em uma doutrina simplificada, uma vez que Pêcheux se utiliza do verbete *necessariamente*, ou seja, a noção de efeito de sentido entre dois interlocutores pode ocasionalmente ser uma informação. E o que isso significa? Basicamente que os estudantes, ancorados em suas memórias discursivas oriunda provavelmente do Ensino Médio simplesmente forneceram as informações as quais lhes foram solicitadas, pautadas em um conceito abordado em aulas de termologia acerca dos mecanismos de transmissão de calor (condução, convecção e irradiação).

Quanto aos dados obtidos por Eijkelhof (1990) é possível constatar que existe uma divergência em relação as respostas obtidas, dado que a maioria dos alunos não foi capaz de diferenciar os conceitos de contaminação radioativa e irradiação. Uma das razões que o autor aponta para essa defasagem se deve ao fato de as reportagens jornalísticas tratarem esses conceitos como conceitos similares. Outro aspecto é que o autor destaca que a maioria dos estudantes disse ter seguido as informações sobre o evento de Chernobyl de forma bastante intensa por meio dos jornais. Esses resultados convergem com os resultados obtidos por

Barragán, Mortimer e Leal (2009) que, ao questionarem estudantes do Ensino Médio quanto ao consumo de alimentos irradiados, observaram que 25% deles responderam que não consumiriam esse tipo de alimento por acreditarem que a falta de estudos associada ao consumo em excesso poderia acarretar em danos futuros à saúde. Ainda segundo os autores;

Algumas falas podem ser compreendidas como sendo receosas frente às possíveis consequências de se adotar uma tecnologia que, explicitamente, carrega o nome da radiação e a associação com fatos trágicos, pois relata o medo de que seja gerada uma situação incontrollável descrita na frase como “epidemia” (p.7)

No que diz respeito ao conceito de contaminação, foi possível verificar que os estudantes conseguiram estabelecer um conceito a respeito de contaminação radioativa, na qual se pautaram na perspectiva de transmissão ou exposição a algum composto que pode acarretar em prejuízo ao organismo, compatíveis com a definição de Okuno (2010):

Se as pessoas estiverem nesses ambientes (com radioisótopos) e ficarem com átomos radioativos aderidos à pele ou dentro do corpo, por ingestão ou inalação, diz-se que também elas estão contaminadas, sendo no primeiro caso contaminação externa e no segundo, interna. (p. 136).

Nossos dados corroboram com os obtidos por Batista e Siqueira (2017) onde os estudantes conseguem fazer uma distinção importante entre irradiação e contaminação radioativa, uma vez que um dos participantes respondeu que comeria um alimento irradiado, pois acreditava que ele não ofereceria risco à saúde. Esse raciocínio é capaz de assegurar que o estudante possui discernimento entre os conceitos de irradiação e contaminação, bem como nossos estudantes.

Por sua vez, Eijkelhof (1990) apresenta em sua produção que a maioria dos alunos não foram capazes de diferenciar entre *contaminação radioativa* e *irradiação*. Segundo o autor, uma resposta cientificamente correta sobre o termo *contaminação radioativa* foi ministrada por apenas 10% dos alunos. Provavelmente essa discrepância em relação aos nossos dados pode ter ocorrido em decorrência do momento histórico no qual a pesquisa de Eijkelhof foi desenvolvida (logo após o acidente nuclear em Chernobyl). O próprio pesquisador salientou que um dos grandes problemas foi em relação às concepções equivocadas produzidas pelos jornais. De acordo com Orlandi (2011);

Por definição, toda formação discursiva se caracteriza por sua relação com a formação ideológica, de tal modo que qualquer “formação discursiva deriva de condições de produção específicas (Pêcheux, 1975). Essa afirmação traz no bojo a contradição da noção de sujeito, que é a marca da análise de discurso; os processos discursivos não tem sua origem no sujeito, embora eles se realizem necessariamente nesse sujeito. Daí o fato de se considerar a intertextualidade a relação de um discurso com outros discursos existentes e a relação de um discurso com outros discursos possíveis, isto é, com suas paráfrases, ou com o domínio de seus implícitos. Em suma, a relação do dito com o não dito, mas que se poderia dizer, naquelas condições. (p.218)

É possível concatenar a citação da autora com a relação direta entre o discurso midiático e a propagação do medo das radiações. Produções como as de Rzytsky e Sartory (1997), Koonings e Kruijt (1999) e Oliveira Junior (2016) apontam que as pessoas possuem um conhecimento limitado quanto as radiações ionizantes e suas principais fontes de informação são oriundas da mídia. Esses estudos mostram que a falta de conhecimento acerca dessas questões contribui para o aumento da sensação de insegurança na sociedade, o que acarreta, por consequência, a disseminação da cultura do medo, sobretudo em decorrência dos acidentes como Chernobyl, Goiânia e Fukushima.

Em relação ao conceito radioatividade, os discursos dos nossos estudantes divergem daqueles apresentados por Eijkelhof (1990). Em sua obra, o autor mostra que durante suas entrevistas o termo 'radioatividade' apareceu relacionado diretamente ao conceito de radiação. O autor ainda destaca que embora os significados sejam bastante variados e genéricos, de uma perspectiva científica, eles podem ser sintetizados em algumas respostas: radioatividade é o mesmo que a radiação; é emitida ou lançada; capaz de atravessar paredes; é absorvida pelos alimentos por meio de irradiação; radiação emitida por metais pesados / átomos pesados / isótopos radioativos; uma forma perigosa de luz; partículas que você não pode ver e que têm uma influência negativa sobre a divisão celular.

Já em nosso questionário os discursos de nossos estudantes foram considerados cientificamente adequados, já que foram definidos como uma maneira do núcleo atômico se estabilizar emitindo radiações. Tal definição se aproxima bastante de uma apresentada por Gombrade (2018, p.17) na qual o autor delimita que “[...] o conceito de radioatividade é definido como o processo de desintegração espontânea do núcleo atômico de determinados elementos com emissão de partículas ou radiação eletromagnética, em geral, partículas alfas, beta ou radiação gama.”

Finalmente, Eijkelhof (1990) expõe em sua produção que seus estudantes expuseram seus conceitos sobre radiação dentro de um grande espectro de possibilidades (radiação de

origem nuclear, radiação eletromagnética, aplicações da radiação e radiação de fundo). O autor ainda destaca que;

A radiação (ionizante) é um termo cujo significado é difícil para a maioria dos alunos descrever. Uma das maneiras mais indiretas de descobrir quais significados são atribuídos a este conceito parece pedir comparações, propriedades, efeitos e relações com outros conceitos. No que diz respeito ao significado da radiação, encontramos nos cinco contextos muitas associações com outros tipos de radiação, especialmente com luz ultravioleta, mas também com calor, ondas de rádio e ondas sonoras. A invisibilidade é uma propriedade reconhecida por quase todos os alunos. (p.88)

Um resultado similar foi encontrado nos estudos de Barragán e Mortimer (2009), no qual os autores buscavam compreender as concepções prévias de estudantes do Ensino Médio acerca dos conceitos de radiação ionizante. Em sua produção, os autores identificaram que;

[...] De modo geral, a radiação foi relacionada a partículas ou ondas e ao fato de serem formas de transporte de energia. Descreveram também características dessas ondas: podem causar modificações nos corpos com os quais interagem e a incandescência. Apenas 18,7% dos alunos referiu-se somente a ondas eletromagnéticas como radiação e, a maior parte, 42,3% descreveu como ondas ou partículas e relacionou essas ao transporte de energia, como pode ser percebido na seguinte frase: “Radiação é a liberação de energia através de ondas ou partículas”.(p.5)

Em contrapartida, nossos estudantes se limitaram a respostas mais técnicas, geralmente associadas a emissão de energia. Do nosso ponto de vista, todas as respostas foram parcialmente corretas, uma vez que radiação pode ser entendida como “[...] energia que se propaga a partir de uma fonte emissora através de qualquer meio, podendo ser classificada como energia em trânsito”. (OKUNO, 2013, p.1). Como já citado em outro momento, acreditamos que essa divergência com ambos os trabalhos pode estar relacionada ao fato de nossos estudantes estarem cursando o nível superior, o que possibilitou a eles maior familiaridade e experiência com esses assuntos. Ainda assim vale destacar que consideramos as respostas parcialmente corretas visto que os estudantes não indicaram, por exemplo, a diferença entre os vários tipos de radiações presentes no espectro eletromagnético, bem como não utilizaram a luz visível como um exemplo de radiação.

A segunda questão que selecionamos para realizarmos nossa análise diz respeito a maneira como a radiação se propaga. A seguir são expostas algumas das respostas produzidas pelos estudantes:

A radiação se propaga como ondas eletromagnéticas de diversas frequências, ou partículas quantizadas. Não necessitando, assim, de qualquer meio para se propagar. (L.I)

A radiação eletromagnética se propaga através do espaço e a radiação corpuscular se dá através de meios presentes na atmosfera terrestre (por exemplo o ar e a água) (G. M. G)

Se propaga interagindo com a matéria, depositando uma quantidade de energia (B. B. F)

A resposta elaborada por L.I pode ser considerada como conceitualmente adequada, já que, como exposto anteriormente, as radiações são interpretadas como “energia em trânsito”. No caso das radiações ionizantes, L.I considera que se trata de uma onda eletromagnética, a qual pode apresentar-se em diferentes frequências. O discurso elaborado na sua resposta ainda menciona a propriedade quântica dual da radiação eletromagnética (se comportando tanto como onda, tanto como partícula). Além disso, L.I complementa sua resposta ao apontar que as radiações não necessitam de um meio material para que se propaguem.

Na sequência, temos o discurso de G. M. G, considerado do ponto de vista conceitual parcialmente correto, uma vez que, ao mencionar que a radiação eletromagnética se propaga no espaço, consideramos que sua análise está pautada na percepção de que ondas eletromagnéticas possuem a capacidade de se propagar até mesmo no vácuo. Contudo, ao complementar sua resposta é possível notar que existe um deslize ao expor que a propagação da radiação corpuscular ocorre necessariamente através de um meio material. Aqui cabe reforçar que as radiações apresentam caráter dual, ou seja, na percepção de G. M. G as radiações podem se “dividir” em dois grupos (ondas e partículas) e cada qual obedece a sua lei de propagação.

Finalmente temos a resposta de B. B. F, a qual foi considerada como conceitualmente incorreta, visto que a radiação não necessita interagir com a matéria para que possa se propagar de um ponto a outro. Causa ainda estranhamento observarmos o complemento da resposta onde B. B. F afirma que essa interação entre matéria e energia provoca algum tipo de depósito de energia, o qual presumimos que ficaria armazenado na matéria. Pudemos notar que B. B. F possa ter se confundido quanto a aspectos que envolvam tanto a natureza dual das radiações quanto suas características quânticas. Como B. B. F é um dos participantes da pesquisa oriundo do curso de química, é possível que tenha faltado embasamento teórico quanto a questão das radiações.

Ao compararmos as respostas fornecidas pelos nossos participantes com Eijkelhof (1990) e Alsop (2001), percebemos que existe uma discrepância entre elas. Em relação ao

primeiro autor, alguns estudantes responderam que a radiação emitida pelo reator nuclear em Chernobyl se propagou pelo vento. No que diz respeito ao contexto médico, a maioria dos estudantes comparou a propagação de X raios como a da luz ("é como tirar uma foto"; "tão leve, mas com um comprimento de onda diferente"). Alguns alunos reportaram que a ventilação de uma sala de raios-X tem um efeito sob a radiação, causando seu espalhamento (tal qual em um gás ou em uma nuvem de poeira). Praticamente todos os alunos esperavam que ocorresse um acúmulo de radiação na sala, principalmente se a sala fosse pequena; eles temiam que as pessoas que trabalhem na sala receberam muita radiação e, portanto, a era importante que houvesse ventilação.

Na produção de Alsop (2001), o qual buscou identificar concepções prévias em estudantes de graduação do Reino Unido, os estudantes consideraram que as radiações poderiam se propagar de três maneiras: um gás, uma onda ou partículas, ou uma entidade imaterial. Ainda segundo o autor;

Na maioria dos casos, para ambos os grupos, as emissões foram consideradas como se parecessem possuir as propriedades de propagação de um gás. Isso incluiu descrições da emissão como vapor, nuvens e uma poeira fina. Nesta concepção semelhante ao gás, a propagação foi afetada pelas condições atmosféricas, como correntes de ar (ALSOP, 2001, p. 270)

Contudo alguns poucos estudantes entrevistados consideram a radiação um tipo de raio ou onda. Nesses casos, os participantes acreditam que a radiação como se propaga muito rapidamente. Tais respostas, segundo o autor, costumavam vir acompanhadas por uma descrição dos diferentes tipos de radiações (alfa, beta e gama).

5.4 A AULA 04 – RAIOS X E UNIDADES DE RADIAÇÕES

O objetivo da aula quatro foi expor aos estudantes os aspectos históricos que permitiram a detecção e a interpretação adequada quanto à natureza dos raios X. Nessa aula também foi explorada a produção de raios X e seus diferentes tipos: Raio X de freamento (bremsstrahlung) e os raios X característicos, assim como o conceito de atenuação dos Raios X e uma breve apresentação quanto ao funcionamento dos raios X em exames clínicos. O outro conteúdo abordado na quarta aula foram as unidades de radiações. Entendemos que era necessário explicar aos estudantes quais as unidades de medida utilizadas no estudo das radiações, bem como suas diferenças, afinal existem duas unidades que estão diretamente relacionadas a dose

de radiação e cada uma delas possui seu próprio significado (dose equivalente e dose absorvida).

Para a aula quatro, aplicamos dois questionários, sendo um deles anterior a aula e um posterior a aula. O primeiro teve como objetivo levantar possíveis concepções dos estudantes que seriam discutidas no decorrer da aula. Já o segundo teve por finalidade identificar se, de fato, os estudantes conseguiram compreender os conceitos apresentados durante a aula. Iniciaremos nossa análise pelo primeiro questionário, o qual selecionamos uma pergunta: Na sua opinião, atividade e dose de radiação são conceitos semelhantes? Justifique. Abaixo são exibidas algumas respostas selecionadas.

Não, pois atividade da radiação seria a característica, a forma que a radiação age. E a dose seria em relação a quantidade de radiação. (B. B. F)

Pensando no conceito de radioatividade, sim! Porque uma coisa é algo fornecer atividade radioativa, ou seja, é uma coisa que se assemelha a uma fonte de radiação ou aquele objetivo por meio controlado, tem atividade de radiação. Já dose de radiação, penso que é algo mais controlado voltado a medicina. (M. C)

São semelhantes, porém, a atividade é a quantidade de material radiativo em que um átomo se transforma por segundo. Já a dose a energia recebida por um meio. (E. D. B)

Acredito que não. Enquanto um mede a quantidade de material radioativo que se desintegra (quase um tempo de meia vida), o outro é uma unidade ao grau de exposição a radiações ionizantes. (G. M. G)

Ao estudar os discursos produzidos pelos estudantes foi possível notar que conceitos como dose de radiação e atividade de uma amostra são conceitos desconhecidos pelos estudantes. Okuno (2010) define atividade como o número de decaimentos por unidade de tempo de uma determinada amostra de material radioativo. Ainda de acordo com a autora, a unidade do SI para atividade é o Becquerel (Bq). Por sua vez, o conceito de dose pode ser compreendido de duas maneiras diferentes. A primeira diz respeito a dose absorvida, a qual segundo Okuno (2010) pode ser estabelecida como a energia aplicada por unidade de massa do meio. Em outras palavras, é a quantidade de energia proferida a uma determinada quantidade de matéria. Sua unidade de medida no SI é o J/kg, nomeado como Gray (Gy).

O outro tipo de dose é a dose equivalente. Conforme destaca Okuno (2010), a dose equivalente é uma medida da dose de radiação que incide em um tecido vivo. A dose equivalente tem maior significado biológico do que a dose absorvida, uma vez que possibilita relacionar os diversos efeitos biológicos de vários tipos de radiação. A sua unidade no Sistema Internacional é Sievert (Sv).

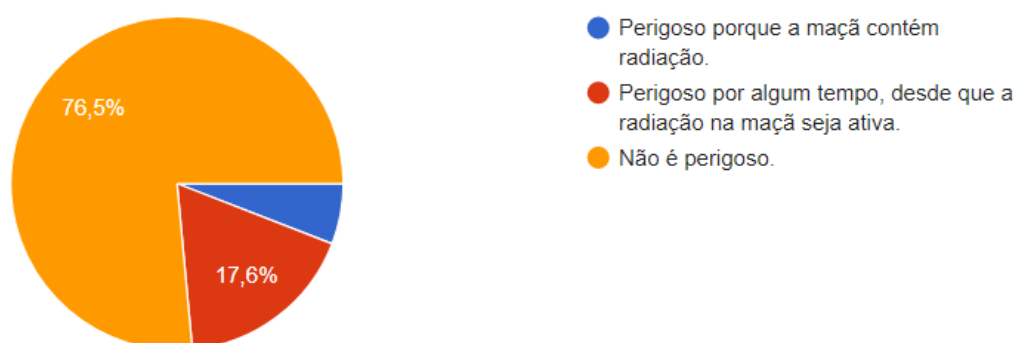
Quanto aos discursos produzidos pelos estudantes é possível notar que M.C e E. D. B acreditam que esses termos (em alguma medida) são similares. Podemos extrapolar que essa dúvida possa estar diretamente relacionada a falta de familiaridade com esses conceitos. Eijkelhof (1990) aponta em seu trabalho que uma parcela de responsabilidade pela confusão entre esses conceitos em relação aos seus estudantes se deve ao fato de como eles são expostos pela mídia. Segundo o autor, em muitas reportagens sobre Chernobyl, foi possível encontrar notícias nos jornais, reportagens com dados quantitativos. Esses números geralmente tinham como finalidade extrapolar a relevância do perigo para a população. Para esta informação o termo 'dose' era geralmente o mais utilizado; por outro lado, o termo 'atividade' quase não apareceu nos jornais. A distinção já bastante sutil entre radiação a dose absorvida (Gray no SI) e dose equivalente (Sievert no SI) é ainda mais complicada pelo uso generalizado de unidades pré-SI, como rad e rem. Além disso, unidades como becquerel e Curie foram utilizadas. Tudo de essas unidades mais as derivadas, como becquerel por litro, por quilograma ou por metro quadrado, e mili-rem ou micro-sieverts, por dia e por ano ocorrem em vários relatórios da imprensa.

Ainda na quarta aula, solicitamos aos estudantes que, ao término da aula expositiva eles respondessem a um outro questionário, o qual tinha como objetivo identificar se de fato os conceitos discutidos haviam sido compreendidos adequadamente. Esse segundo questionário possuía duas questões de múltipla escolha, sendo que somente uma das alternativas era considerada uma resposta correta. A primeira questão, indagava os estudantes quanto ao seguinte problema: durante um experimento escolar, os alunos examinam uma maçã na frente de um tubo de raios X e observaram uma imagem da maçã em uma tela. Comer a maçã depois é:

- a) Perigoso porque a maçã contém radiação.
- b) Perigoso por algum tempo, desde que a radiação na maçã seja ativa.
- c) Não é perigoso.

A seguir, apresentamos graficamente as respostas dos estudantes.

Gráfico 07: Respostas dos estudantes quanto a exposição de uma maçã a um tubo de raios X.



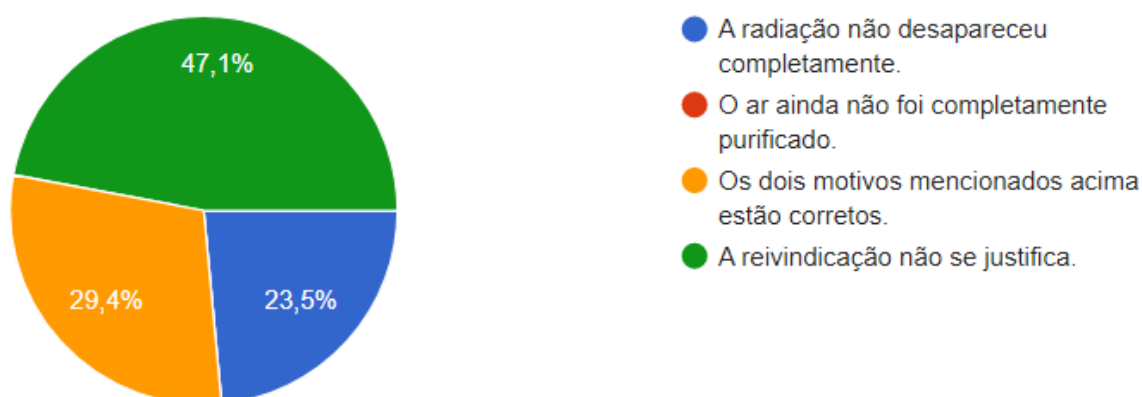
Fonte: Próprio autor

A segunda questão tratada com os estudantes foi a seguinte: em certos setores é comum compensar os funcionários por serem expostos a certos riscos. Suponha que os limpadores noturnos de um departamento de raio-X de um hospital reivindicar tal prêmio pelo risco que assumem durante a limpeza do departamento à noite. Esta alegação é justificada por que:

- A radiação não desapareceu completamente.
- O ar ainda não foi completamente purificado.
- Os dois motivos mencionados acima estão corretos.
- A reivindicação não se justifica.

Os dados obtidos a partir das respostas dos estudantes estão expostos no gráfico a seguir.

Gráfico 08: Respostas dos estudantes em relação a possível exposição de radiação por funcionários da limpeza.



Fonte: Próprio autor

Pudemos observar a partir das respostas fornecidas pelos estudantes que a sua grande maioria as respostas dadas estavam conceitualmente corretas. Atribuímos esse fato a dois aspectos: o primeiro diz respeito a essas questões serem parecidas com uma questão já tratada no questionário inicial (no qual tínhamos um morango em contato direto com uma fonte radioativa). Graças ao questionário foi possível verificar uma correlação direta entre os estudantes que já haviam respondido corretamente essa questão no primeiro momento e utilizaram-se do mesmo conceito para responder a primeira pergunta do questionário pós-aula. O segundo aspecto provavelmente está associado à compreensão dos conceitos abordados durante a aula, o que favoreceu que boa parte dos estudantes conseguisse acertar as questões propostas, já que na aula, o professor pesquisador discutiu um tópico específico sobre conceitos e unidades das radiações.

Vale destacar que essas questões foram adaptadas da obra de Eijkelhof (1990). O mais impressionante nesses resultados foi que alguns poucos alunos ainda mantêm a ideia de que existe uma “conservação da radiação”, especialmente nos alimentos e no ar mesmo após as aulas sobre o assunto.

No que diz respeito ao uso da ideia de tempo nas questões Colclough et al. (2011) destacam que sua utilização se deu uma vez que a irradiação de alimentos, a contaminação radioativa de objetos e o impacto da radiação ionizante nos tecidos vivos são questões comumente abordadas em todas as disciplinas do currículo secundário na Inglaterra, com o intuito de que reduzir possíveis equívocos que podem induzir os estudantes a creditarem que essa variável, embora importante quando discutirmos a importância da exposição a uma fonte radioativa, não acarreta em danos à saúde humana nas situações apresentadas anteriormente.

Quanto a segunda questão, Eijkelhof (1990) ainda destaca em seu trabalho que boa parte dos estudantes não espera que os raios X permaneçam por muito tempo no corpo humano. Ademais, a necessidade de se ventilar a sala de raios X é esperada por cerca de metade dos alunos. Outro trabalho que abordou questões relacionadas a situações perigosas foi o de Alsop e Watts (2000). Utilizando uma metodologia de entrevistas conhecida como entrevistas sobre cenários, os pesquisadores empregaram perguntas orientadoras como aqueles que perguntam diretamente se a situação era perigosa, se sempre existe um perigo e quais seriam os efeitos dentro de um contexto particular. Essas questões, assim como as discutidas nesse trabalho, foram elaboradas para evitar implicações de risco e palavras consideradas tendenciosas foram filtradas para criar questões mais neutras. Dessa maneira, o interesse do nosso questionário era

simplesmente de apresentar cenários conceitualmente conflitantes que levassem os estudantes a refletirem acerca das possibilidades e quais das opções fornecidas seria a mais adequada.

5.5 A AULA 05 – RADIOISÓTOPOS E DECAIMENTO RADIOATIVO

A aula cinco teve como objetivo discutir conceitos que estão relacionados a outro fenômeno físico relacionado ao nosso estudo: a radioatividade. Para isso, partimos de definições de conceitos iniciais, tais como número atômico, núclídeos, número de massa, isótopos e meia-vida. Após a apresentação desses conceitos, seguimos nossa aula com os tipos de decaimento radioativo (alfa, beta e gama). A junção entre todos esses conteúdos permitiu que pudéssemos trabalhar a primeira e a segunda lei da radioatividade, as quais tratam respectivamente dos decaimentos do tipo alfa e beta. Prosseguimos a aula cinco discutindo sobre o fenômeno da desintegração nuclear até finalmente convergirmos para a lei fundamental do decaimento radioativo. Essa lei possibilita calcularmos o tempo de meia vida, ou seja, o tempo necessário para que metade dos átomos de uma amostra se desintegre. Entretanto, é improvável antever qual núcleo de um isótopo radioativo irá decair a um determinado momento. O decaimento de qualquer um dos núcleos tem a mesma probabilidade de acontecer. Assim, o decaimento de um único átomo radioativo é tido como um fenômeno aleatório.

De posse da informação de que não existe um dispositivo capaz de medir o número de átomos de uma amostra ou substância radioativa, mas sim a taxa de decaimento (número de desintegrações por unidade de tempo), finalizamos nossa quinta aula apresentando aos estudantes o conceito de atividade de uma amostra e finalmente expusemos o funcionamento de um detector Geiger-Muller.

Nessa aula, assim como em aulas anteriores, solicitamos aos estudantes que respondessem um questionário prévio, composto somente por uma questão: Qual das definições de meia-vida você considera mais apropriada. a) O tempo de meia vida de um elemento radioisótopo é definido como o tempo necessário para que a sua massa seja reduzida pela metade ou b) meia-vida é o tempo necessário para que uma amostra perca metade de sua radioatividade original? Justifique. A opção por essa questão se fez porque decaimento radioativo é um dos assuntos trabalhados na educação básica em Química, porém com ênfase nos cálculos de tempo de meia-vida. Dessa maneira, busquei analisar quais os sentidos que os estudantes poderiam resgatar desta etapa anterior do ensino. Destaco que os alunos tiveram

aproximadamente 20 minutos para encaminharem suas respostas na plataforma online *google classroom*. A seguir apresentamos algumas respostas.

Alternativa a. Meia-vida se refere a desintegração exponencial (através de algum decaimento) do núcleo atômico, afetando então sua massa. Meia-vida então se refere ao tempo necessário para que o elemento tenha sua massa reduzida pela metade e não sua radiação. (V. G. P. S, grifo nosso)

Meia a vida é o tempo em que um elemento tem sua massa reduzida pela metade, ter a massa reduzida não faz com que ele perca sua radioatividade, acontece que até se tornar estável esse elemento continuará a ser radioativo. Portanto a alternativa (a) está correta com ressalvas. (A. L. O. J, grifo nosso)

Acredito que as duas sejam apropriadas. Pois, o tempo de meia vida é o tempo em que metade dos átomos presentes na amostra leva para se desintegrar, e como tais se desintegraram, não emitem mais radiação, emitindo apenas a metade que sobrou. (B. B, grifo nosso)

As duas, a massa é reduzida sim, já que o átomo se torna menos radioativo liberando parte de seus componentes, núcleos, elétrons, prótons, então conforme ele perde esses componentes, o seu núcleo radioativo decresce, diminuindo a radioatividade original. (S. P, grifo nosso)

Na obra de Eijkelhof (1990) encontramos várias citações onde o termo 'meia-vida' parece ser compreendido como o período ativo (tempo de vida) durante o qual a substância radioativa retém sua “radiação” ou “radioatividade”, ou como o período em que a atividade é constante em seu nível máximo e que, a partir daquele instante, começa a diminuir.

Já na produção de Okuno (2010) o conceito de meia-vida é definido como o tempo em que metade dos átomos de uma fonte radioativa leva para se desintegrar. É interessante analisar a palavra desintegração, uma vez que ela é sinônimo de dividir, diminuir e reduzir. Esses sinônimos estão presentes em todas as respostas selecionadas, o que permitiu evidenciar o surgimento da ambiguidade, uma vez que os estudantes usaram termos similares para descrever o mesmo conceito, entretanto com respostas distintas. É possível que isso tenha acontecido devido a formulação da pergunta que buscava causar um desconforto conceitual nos estudantes,

já que ambas as afirmativas estavam corretas. Entretanto, como destaca Orlandi (2001) cabe destacar que;

Como a Análise de Discurso se constitui na relação de pressuposição com a Linguística e numa proximidade – porque se interessa pelo social e pelo histórico – com as Ciências Sociais, ela também tem de mostrar os meios pelos quais se demarca em sua prática analítica p.90)

Assim, nossa função ao analisar os discursos dos estudantes é observar além das respostas apresentadas, buscando em sua totalidade ter acesso aos seus discursos. É importante ressaltar, conforme aponta Orlandi (2001) que todo discurso é afetado pelas condições de produção e também pelo espaço significante, ou seja, o espaço do jogo de sentidos, de trabalho da linguagem e de funcionamento da discursividade. Dessa maneira, é pertinente apontar que as diferentes respostas podem estar relacionadas as diferentes interpretações com as quais os estudantes produziram, seja pela construção do enunciado da questão, seja por fatores que envolveram a construção do discurso, como, por exemplo, a familiaridade (ou não) com o conceito.

Situação semelhante aconteceu na produção de Eijkelhof (1990) a qual o termo "meia-vida" provocou uma grande variedade de significados. De acordo com os resultados obtidos em seu trabalho, o autor identificou que uma resposta cientificamente aceitável foi dada por cerca de 40% dos alunos. Já 23% dos estudantes relataram que meia-vida estava relacionada principalmente à redução pela metade da radiação enquanto 13% apontaram que o conceito estava atrelado a diminuição de metade da radioatividade emitida pelo elemento radioativo. Somente 4% notaram que metade da substância se desintegrou durante uma meia-vida ou que resta metade da substância original. Nenhum dos alunos mencionou a chance de um núcleo se desintegrar. Finalmente o autor ainda destaca que um grande grupo de estudantes não foi capaz de responder a esta pergunta (34%). Outras respostas quanto ao significado para meia-vida foram: tempo em que um núcleo/átomo/molécula é dividido em duas metades; tempo em que uma usina funciona pela metade e redução pela metade da dose de radiação.

Esses sentidos identificados na produção do pesquisador supracitado anteriormente acerca do conceito de meia-vida podem ser esperados de sujeitos que não estão familiarizados com o processo de decaimento radioativo e que por isso, se faz necessária uma educação adequada a respeito desse tema para proporcionar à população serenidade quanto às radiações e suas tecnologias (BARRAGÁN, MORTIMER, LEAL; 2009).

Ao final da quinta aula, solicitamos que os estudantes respondessem a outro questionário com o intuito de que pudéssemos verificar se alguns dos conceitos trabalhados durante a aula

havia sido compreendidos de maneira adequada. Assim, selecionamos duas questões para serem analisadas.

A primeira questão selecionada foi a seguinte: O que produz uma taxa de contagem mais alta em um detector de radiação: um grama de um material radioativo com meia-vida curta, ou um material com meia-vida longa? Justifique. A seguir, apresentamos algumas das respostas dos estudantes:

Um grama de um material radioativo com meia-vida curta, pois quanto menor o tempo de meia-vida do átomo, maior será a quantidade de partículas que ele solta por tempo (mais radiação). (B. B, grifo nosso)

Meia vida curta, quanto mais radiação ele solta, menor o tempo de vida dele. (A. C. J, grifo nosso)

Com meia-vida curta, pois o material vai ficando cada vez menor, pois ele fica soltando partículas dele e vai ficando sem massa, logo quanto mais partículas ele solta por tempo, menor o tempo de vida dele. (E. B, grifo nosso)

A taxa de contagem mais alta é do elemento com meia-vida curta, pois ele se decompõe mais depressa, ou seja, ele emite mais partículas em um mesmo intervalo de tempo. (L. A. C, grifo nosso)

É possível notar que existe um padrão nas respostas dos participantes, já que os verbos “soltar” e “decompor” aparecem em todos os discursos. Do ponto de vista conceitual, a resposta dos estudantes se encontra correta, entretanto, é perceptível o nível de similaridade entre os discursos, o que nos levou a crer que possam ter sido produzidos a partir de um discurso *já-dito*. Realizamos assim uma busca na internet, onde foi possível identificar o texto a seguir:

Nós podemos imaginar a radiação de forma simplificada, pensando que é um átomo que solta várias partículas dela a todo momento. Estas partículas que estão constantemente sendo ejetadas do átomo radioativo, são a própria radiação que medimos. Note que se pensarmos desse jeito, o átomo está ficando menor, pois se ele fica soltando partículas dele, ele vai ficando sem massa, logo, quanto mais partículas ele solta por tempo (mais radiação), menor o tempo de vida dele, pois ele vai perdendo mais massa e ficando menor mais rápido.

Assim podemos afirmar que um material mais radioativo (com taxa de decaimento maior) tem meia-vida curta. (<https://brainly.com.br/tarefa/23687994>, grifo nosso)

Ao identificarmos o discurso supracitado, pudemos notar que os estudantes se apropriaram do recurso da repetição formal. De acordo com Orlandi (1998) esse tipo de repetição não historiciza, tampouco carrega consigo qualquer traço ideológico próprio daquele que propõe o discurso; trata-se somente de uma elaboração da forma abstrata da língua, na qual o interlocutor apropria-se de um já-dito anteriormente, reproduzindo o mesmo discurso com outras palavras. Dessa maneira, é possível que os estudantes tenham tido contato com esse discurso encontrado na internet e se apropriaram dele com o intuito de elaborar uma resposta que considerassem adequada por, talvez, não possuírem segurança suficiente para produzirem sua própria resposta. É provável que os estudantes tenham se apropriado desse tipo de repetição pela preocupação em formular uma resposta adequada.

Isso nos leva a um segundo ponto: as condições de produção das respostas elaboradas pelos participantes. Para Orlandi (2001);

[...]Elas compreendem fundamentalmente os sujeitos e a situação. Também a memória faz parte da produção do discurso. [...] Podemos considerar as condições de produção em sentido estrito e temos as circunstâncias da enunciação: é o contexto imediato. (p.30)

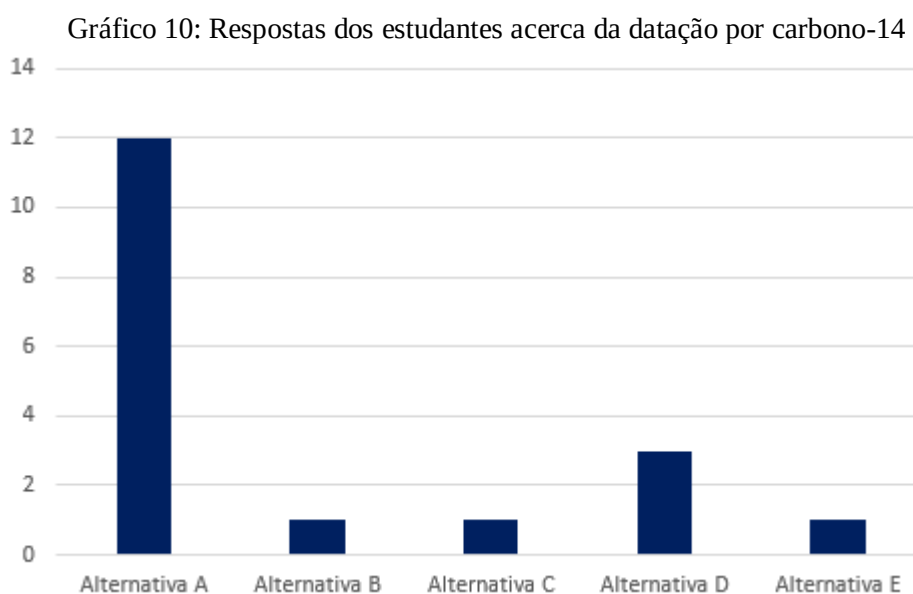
Partindo dessa definição, fica evidente que os alunos buscaram identificar possíveis estratégias que os auxiliassem na elaboração de um discurso que estivesse alinhado ao pressuposto conceitual. Entretanto, cabe ressaltar que essa atividade foi disponibilizada após o término da aula, podendo ser realizada em qualquer momento sem nenhum tipo de supervisão por parte do professor. Isso pode ter contribuído para que os estudantes consultassem a internet, modificando suas condições de produção imediatas. As condições de produção do discurso englobam sobretudo os sujeitos e a situação, bem como a memória. No que diz respeito ao discurso, a memória é tratada como interdiscurso, possibilitando dizeres que afetam o modo como o sujeito significa em uma situação discursiva anterior. Ademais, as condições de produção, segundo a Orlandi, funcionam de acordo com certos fatores. Um deles é o que a autora qualifica como “relação de sentidos”, na qual não existe discurso que não se relacione com outros. É impossível identificar um início absoluto, tampouco um ponto final para o discurso, já que ele tem relação com outros já-ditos. Assim, as condições de produção do discurso implicam o que é material, o que é institucional e o mecanismo imaginário. Esses

elementos irão contribuir para a organização das circunstâncias nas quais o discurso é elaborado assim como para a análise do mesmo.

Para a segunda questão, selecionei uma pergunta que apresentava uma aplicação quanto a utilização dos radioisótopos e indagava aos estudantes acerca da técnica do carbono-14. Essa questão foi retirada de uma base de dados de questões utilizadas como instrumento para seleção de estudantes que buscavam ingressar em universidades públicas. A questão foi apresentada da seguinte forma: Recentemente, cientistas recuperaram DNA de ossos de mamute encontrados na Sibéria, os quais foram datados de cerca de 28 mil anos confirmada pela técnica do carbono-14. A técnica de datação apresentada no texto só é possível devido à:

- a) proporção conhecida entre carbono-14 e carbono-12 na atmosfera ao longo dos anos.
- b) decomposição de todo o carbono-12 presente no organismo após a morte.
- c) transformação do carbono-12 em carbono-14 ao longo dos anos.
- d) fixação maior do carbono-14 nos tecidos de organismos após a morte.
- e) emissão de carbono-12 pelos tecidos de organismos após a morte.

Na sequência, apresentamos o gráfico 10, obtido a partir das respostas dos estudantes:



Fonte: próprio autor

Foi possível notar que a grande maioria dos participantes (66%) respondeu corretamente, marcando a alternativa “A”, o que pode ser um indicativo de que os alunos

possam ter compreendido o conteúdo abordado, seja pelo interesse no assunto, seja nas especificidades das aplicações relacionadas ao fenômeno do decaimento radioativo.

Embora a segunda questão seja de múltipla escolha, os participantes são tomados como sujeitos, e tal como sujeitos da AD são arautos da certeza de serem origem de seus próprios discursos. Partindo dessa concepção, Camargo (2019, p.175) indica que “[...] o conceito de sentido é fruto do coletivo. Logo, ele é formado por uma rede de memória. Esse ato de lembrar clamado na citação inicial é origem do discurso e das suas condições de produção relacionadas à Memória Discursiva”. Diante dessa constatação, vale ressaltar que a técnica do carbono-14 foi um dos últimos tópicos discutidos na aula cinco, o que pode ter contribuído para que os estudantes conseguissem maior taxa de acertos nessa questão.

5.6 A AULA 06 – INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA

A sexta aula abordou aspectos relacionados à interação da radiação com a matéria. Na primeira parte da aula discutimos fenômenos como efeito fotoelétrico, efeito Compton e produção de pares. Já na segunda parte da aula foram abordadas as possibilidades de ensino de matéria e radiação no ensino médio com o auxílio de simuladores interativos, discutidas a partir da leitura de um texto previamente solicitado.

Para esta aula, apresentamos somente um questionário pós-aula, constituído de uma questão que foi analisada a partir das produções discursivas dos estudantes. A questão solicitava aos participantes refletirem sobre qual seria sua abordagem para tentar explicar a uma pessoa leiga os riscos associados à saúde em decorrência da exposição contínua à radiação ionizante. A seguir são expostas algumas das respostas selecionadas:

Tentaria aproximar o máximo possível o conceito de radiações ionizantes com o cotidiano da pessoa, para que ela pudesse ver que é algo que pode ser aplicado em sua vida. Para isso, explicaria com muitos exemplos de radiações ionizantes no cotidiano e o que ela poderia causar em nossas vidas. Dessa forma, a pessoa iria se lembrar do que passei para ela por ser algo aplicável em sua vida. (R.K.H, grifo nosso)

Ao apresentar pela primeira vez o conceito de radiações, tentaria fazer uma analogia com a radiação UV emitida pelo Sol. Relacionando o tempo de exposição com os problemas que podem causar. Porém, apontaria as limitações dessa analogia como, por exemplo, a

sensação de calor recebida pela "luz do sol" que não é sentida no caso das radiações ionizantes. (E.D.B, grifo nosso)

Em um primeiro momento perguntaria se a outra pessoa sabe o que é radiação para ter uma base de seu conhecimento, esse sendo certo ou errado. Após isso explicaria então do que se trata radiação, e logo após introduziria de uma forma básica o que é a radiação ionizante. E dessa maneira discutiria assim os riscos que esta radiação pode causar a sua saúde devido a uma exposição contínua, claro que explicaria os porquês e como tudo ocorre, de uma maneira básica e entendível. Explicando que como essa radiação pode mudar a estrutura de um átomo, ela afeta a estrutura genética, causando mutações, indo de queimaduras a até mesmo câncer, dependendo do grau de exposição que a pessoa tem com essa radiação. (L.Z.L.V, grifo nosso)

O problema de uma abordagem para um completo leigo seria a incapacidade de utilizar qualquer termo técnico, então tentarei explicar o máximo possível sem envolver estes. "Essa radiação da qual estamos falando, por possuir algo que eu vou chamar aqui de "força muito grande", mas na verdade é uma grande energia, causa bem pequenas alterações em partes bem pequenas do seu corpo, de forma que nada pode ser sentido de imediato e nem diretamente e, após algum tempo, essa alteração é "recuperada" pelo nosso corpo, de forma que o que tinha sido alterado é substituído. Porém, se isso acontecer durante um tempo grande, de pequenas partes em pequenas partes, o grande conjunto dessas alterações alcançam um ponto de onde o nosso corpo não é capaz de "se recuperar" de uma maneira natural, além de atingir um ponto onde pode se espalhar sem novas exposições do seu corpo à radiação, também em uma velocidade que o corpo não consegue acompanhar." (L.I)

Dependendo da pessoa, da idade e do tempo de explicação, sem usar termos técnicos, com sinônimos conhecidos eu explicaria a interação da radiação com a molécula e outros riscos provocados pela sua exposição contínua. (S. P, grifo nosso)

Para a análise dessa questão, consideramos mais adequado subdividir as análises em duas categorias: **uso de analogias** e **o interdiscurso**. Os dois primeiros discursos se encaixam na primeira categoria.

Diversos estudos tem sido realizados quanto ao uso de analogias no ensino de Física, entre os quais podemos citar: Bozelli e Nardi (2006 e 2012); Londero e Terrazzan (2009); Silva

e Martins (2010); Zambon e Terrazzan (2013) e Kopp e Almeida (2019). Tais trabalhos apontam para uma ideia comum de analogia como sendo uma relação de comparação ou semelhança entre conceitos/fenômenos/assuntos triviais ou já conhecidos com aqueles ainda desconhecidos ou pouco familiares. No que diz respeito as vantagens da utilização das analogias em uma perspectiva didática, Kopp e Almeida (2019) destacam que elas: possibilitam a aproximação de conceitos já estudados pelos estudantes de novas concepções; permite difundir conceitos abstratos de maneira concreta ou mais simples de serem concebidos e proporcionam o levantamento de concepções alternativas por parte dos estudantes.

Dessa maneira, o primeiro discurso, de autoria de R.K.H, expõe características do uso de termos “do cotidiano”, sem explicitar quais seriam, porém deixando evidente que essa abordagem teria como finalidade simplificar o processo de compreensão quanto aos riscos associados à saúde em decorrência da exposição contínua à radiações ionizantes.

O mesmo raciocínio se aplica ao discurso de E.D.B. Em seu discurso é possível identificar o uso de analogias no trecho “tentaria fazer uma analogia com a radiação UV emitida pelo Sol. Relacionando o tempo de exposição com os problemas que podem causar”. Diferente de R.K.H, no segundo discurso a analogia é visível e bem apresentada, haja visto que a exposição contínua ao Sol é tema recorrente em produtos comercializados durante o verão, bem como em campanhas publicitárias que visam alertar a população sobre os riscos da exposição aos raios solares entre as dez horas da manhã até as dezesseis horas da tarde.

Ao observar os dois discursos, pudemos notar que os participantes identificaram o emprego das analogias como um instrumento válido para explicar um fenômeno que possui certa complexidade, o qual, segundo Bozelli e Nardi (2006) corroboram o papel das analogias como um facilitador da aprendizagem. Entretanto, ficou evidente que eles não levaram em consideração as possíveis desvantagens do uso das analogias, tal como apontadas na produção de Kopp e Almeida (2019) onde os autores destacam que o uso de analogias pode acarretar na criação de dificuldades de compreensão, caso a analogia utilizada não seja tão familiar ao estudante, além de induzir concepções alternativas ou obstáculos epistemológicos, quando a analogia não é exposta com as devidas limitações da aproximação. A simplificação da exposição da analogia, presente no discurso de R.K.H poderia, numa eventual tentativa de explicar a um leigo acerca dos riscos da radiação ao organismo, esbarrar em alguma dessas desvantagens supracitadas.

Já o discurso de L.Z.L.V possui características do interdiscurso, uma vez que buscou simplificar os conceitos a fim de procurar evidências de elementos que pudessem auxiliar a compreensão da forma como a radiação afeta diretamente o organismo quando sujeito a uma

exposição contínua. Contudo, existe uma divergência entre o que ela considera uma “explicação básica” dos conceitos, uma vez que ao elucidar as características da radiação ionizante e seus riscos, seu discurso apresenta termos como “estrutura de um átomo”, “estrutura genética” e “mutações”. Segundo Orlandi;

Há um longo percurso entre o interdiscurso (memória discursiva) e o texto: ordem das palavras, repetições, relações de sentidos, paráfrases que diluem linearidade mostrando que há outros discursos no discurso, que os limites são difusos, passando por mediações, por transformações, relação obrigatória com o imaginário. (2008, p.110)

Como o interdiscurso constitui aquilo que determina o discurso do sujeito e, no processo discursivo, é reinscrito no próprio sujeito., é compreensível que L.Z.L.V considerasse seu discurso simplificado, ou seja, por já possuir esse conhecimento é válido interpretar que esses termos sejam triviais e já conhecidos por um leigo e possam servir como ponto de partida para uma discussão mais aprofundada.

Já os discursos de L.I e S.P reforçam em seus discursos o emprego do vocábulo **termo técnico**. É pertinente notar que, embora L.I busque não usar qualquer termo técnico, seu discurso é carregado de simplificações e generalizações, como quando utilizou a expressão **força muito grande** a fim de explicar o fenômeno da radioatividade. Por sua vez, S.P propõe logo no início de seu discurso que a idade e o tempo disponíveis são elementos essenciais para realizar a sua explicação. Embora se trate de um discurso menos elaborado que seu antecessor, S.P faz uso de termos científicos como **interação da radiação** e **molécula**, contrapondo sua premissa anterior.

As concepções apresentadas nos dois últimos discursos podem estar atreladas ao fato dos participantes acreditarem que a utilização dessas generalizações possa contribuir para a compreensão de um leigo; contudo Charaudeau (2008) reforça em sua obra que;

Assim, para o sujeito interpretante, interpretar é criar hipóteses sobre: (i) o saber do sujeito enunciatador; (ii) sobre seus pontos de vista em relação aos seus enunciados; (iii) e também seus pontos de vista em relação ao seu destinatário, lembrando que toda interpretação é uma sobreposição de intenção. (p.31,2008)

Embora seja somente um exercício mental, entendemos que é fundamental que os licenciandos sejam capazes de apresentar, de maneira satisfatória, os conteúdos acerca da física das radiações ionizantes. Ficou nítido que a estratégia quanto a simplificação de conceitos não foi a ideal para tratar de forma adequada conceitos físicos. Por outro lado, conforme destacam

Silva e Martins (2010), as analogias são capazes de propiciar a aprendizagem de teorias abstratas por meio da comparação com estruturas mais concretas, ou mais familiares pelos estudantes. Outro ponto favorável ao uso (adequado) das analogias diz respeito a produção de Bozelli e Nardi (2012), a qual já apontava uma necessidade quanto a discussões acerca da utilização de analogias no ensino, sobretudo na formação inicial, no que tange suas atribuições, suas aplicabilidades, seus empregos, bem como suas vantagens e desvantagens dentro da prática pedagógica.

5.7 A AULA 07 – ACIDENTE DE CHERNOBYL

Na aula sete tratamos da discussão acerca do acidente de Chernobyl, ocorrido na cidade de Pripyat, atualmente território ucraniano. Para isso, utilizamos uma abordagem diferente das aulas anteriores. Optamos por apresentar em uma das aulas um dos episódios da minissérie Chernobyl, produzida pela HBO, na qual relata o drama vivido pelos cidadãos da cidade em virtude da catástrofe ocorrida após a explosão de um dos reatores da usina nuclear. Entretanto, a qualidade da transmissão não estava satisfatória, o que nos levou a solicitar aos participantes que assistissem aos demais episódios em suas casas.

Os participantes foram instruídos a assistirem a minissérie com um olhar mais voltado para as questões científicas envolvidas na trama e deveriam trazer para a aula seguinte perguntas relacionadas a temática para que fossem discutidas em sala de aula. No início da aula sete foi ministrada por parte do pesquisador algumas questões históricas relacionadas ao acidente nuclear de Chernobyl, com o intuito de apresentar alguns elementos que estavam presentes no enredo e que poderiam ter passado despercebido pelos estudantes. Do ponto de vista da AD, Orlandi (2001) destaca que:

Não vemos nos textos os “conteúdos” da história. Eles são tomados como discursos, em cuja materialidade está inscrita a relação com a exterioridade. Entre a evidência empírica e o cálculo formal exato, trabalhamos, na Análise de Discurso, em uma região menos óbvia e menos demonstrável, mas igualmente relevante, que é a materialidade histórica da linguagem. (p.68)

A autora supracitada ainda destaca em sua produção que um texto pode se apresentar tanto como na forma escrita quanto como na forma oral. Assim, uma linguagem fílmica está sujeita as mesmas condições de análise do que uma produção textual.

Em seguida, o pesquisador discutiu as possibilidades quanto à utilização de filmes de ficção científica para o ensino de física, a partir da leitura previamente sugerida aos

participantes de um artigo que tratava da temática em questão (PIASSI e PIETROCOLA, 2009). Diversos trabalhos versam a respeito da utilização da ficção científica como instrumento didático, tais como Dubcek, (1990, 1993, 1998); Southworth, (1987); Martin-Diaz, (1992); Nauman, (1994); Freudenrich, (2000); Shaw, (2000); Brake, (2003); Dark, (2005) e Piassi e Pietrocola (2009). Outras pesquisas optaram por analisar as potencialidades presentes a partir da implementação de filmes para trabalhar tanto conteúdos de física clássica (XAVIER ET AL., 2010; SORPRESO, LONDERO, PEREIRA, 2014) como de física moderna (LONDERO, SORPRESO, 2017; MOURA, OLIVEIRA, 2019; PINHEIRO, LONDERO, 2021), geralmente associadas a filmes e/ou séries que retratam gênero drama biográfico ou de ficção científica. Esses estudos, geralmente oriundos de uma prática de aplicação em sala de aula, expõe que as inúmeras possibilidades de aplicação da ficção científica no ensino. Tal constatação contribuiu para que utilizássemos essa ferramenta metodológica durante nosso curso.

Seguimos nossa aula exibindo cada uma das questões formuladas pelos estudantes. Cabe destacar todas as questões selecionadas foram enviadas pelo participante G. P. A, professor com anos de experiência na rede estadual e que solicitou a participação na disciplina como aluno especial. Foram selecionadas sete perguntas para a aula, as quais estão listadas abaixo:

- 1- Como funciona o mecanismo de proteção da tireoide por ingestão de iodo?
- 2- Qual é o iodo radioativo? Ele é produzido a partir da transmutação do Urânio 238?
- 3- Houve uma degradação muito rápida no tecido humano dos funcionários da usina que se expuseram mais a radiação, é mesmo dessa forma que acontece?
- 4- A lanterna dos três funcionários que fecharam o fluxo de água apagou devido a radiação. Esse efeito acontece com todos os aparelhos elétricos? Obs. Depois no próximo episódio eles apareceram com lanternas de indução.
- 5- No hospital os pacientes e os bombeiros não podiam ser tocados. Eles estavam contaminados?
- 6- Visto que os pacientes estavam envoltos com plástico nos leitos, isso sugere que a radiação que eles emitiam era do tipo alfa, devido ao baixo poder de penetração?
- 7- Por que usar boro?

Charaudeau (2008) aponta em sua obra que existem quatro diferentes categorias dentro da língua na qual é possível se estabelecer um meio de comunicação entre interlocutores. Os modos de organização, são, de acordo com o autor: enunciativo, o descritivo, o narrativo e o argumentativo. Todas essas categorias são apresentadas pelo autor da seguinte maneira;

Cada um desses Modos de organização possui uma *função de base* e um *princípio de organização*. A *função de base* corresponde à finalidade discursiva do Projeto de fala do locutor, a saber: O que é “enunciar”? O que é “descrever”? O que é “contar”? e o que é “argumentar”? O *princípio da organização* é duplo para o Descritivo, o Narrativo e o Argumentativo. Com efeito, cada um desses modos propõe, ao mesmo tempo: uma *organização* do “*mundo referencial*”, o que resulta em *lógicas de construção* desses mundos (descritiva, narrativa, argumentativa); e uma *organização* de sua “*encenação*” (descritiva, narrativa, argumentativa) (CHARAUDEAU, 2008, p.74)

O modo enunciativo tem como finalidade ordenar o discurso, proporcionando ao locutor um canal de comunicação com o interlocutor, a si mesmo e aos outros. Por sua vez o modo de organização descritivo tem como função base apontar e qualificar sujeitos e objetos presentes no discurso, tanto de maneira objetiva quanto subjetiva. Já o modo narrativo trata de elaborar um encadeamento de atos de uma história durante o passar do tempo, com a finalidade de conceber um relato. Finalmente o modo argumentativo tem por característica evidenciar e provar casualidades a partir de uma perspectiva ideológica com o intuito de influenciar o interlocutor.

Esses quatro modos de organização auxiliam na compreensão de como se deu a formulação das questões por parte dos estudantes, uma vez que podemos identificar características dos modos descritivos (questões 1, 2, 7) e argumentativos (questões 3, 4, 5 e 6, 4, 5) e que são corroboradas na produção de Charaudeau (2008, p.78) ao mencionar que “ o gênero científico (que varia, evidentemente, segundo a disciplina e o suporte que a veicula) é essencialmente organizado segundo um modo argumentativo, mas pode conter passagens descritivas e narrativas”.

No que diz respeito a primeira pergunta, o pesquisador elaborou uma resposta na qual exponha que no caso de um acidente nuclear, o iodo radioativo é um dos elementos que são lançados no ar e que, em contato com um organismo vivo, são rapidamente absorvidos, tanto pelo ar, como por alimentos ou mesmo pela pele, sendo armazenado na tireoide. Para minimizar os impactos causados pela ação do iodo radioativo, é recomendado que seja administrado iodeto de potássio para as pessoas próximas ao epicentro da catástrofe o quanto antes. Ao ingerir o iodeto de potássio, a glândula tireoide retém essa forma de iodo, impedindo que o iodo radioativo seja absorvido pelo organismo.

Durante a elaboração da resposta pelo pesquisador, dois dos participantes da pesquisa encaminharam duas questões, via chat, relacionadas à temática abordada:

Desculpa se for uma pergunta boba, mas então esses elementos estariam no ar? (M.C)

O cientista (da série) temia por uma segunda explosão e chegou a comparar a uma bomba atômica. Ele afirmou que se isso ocorresse tornaria grande parte da Europa inabitável. Então, um reator pode explodir como uma bomba ou, apesar da base dos dois ser a fissão nuclear apresentam um mecanismo diferente? (A. E. O. S)

Vale ressaltar que, no momento em que as perguntas foram enviadas, o pesquisador ainda estava comentando sobre as diferentes maneiras que os elementos radioativos podem ser absorvidos, entre elas, a pele e as mucosas. O pesquisador frisou em sua fala que um dos estudantes perguntou o porquê os bombeiros sentiam um gosto metálico na boca durante a tentativa de apagar o incêndio da usina nuclear. A explicação foi a de que após a explosão diversos elementos químicos foram lançados na atmosfera e não somente os isótopos de urânio.

No que diz respeito ao questionamento levantado por M.C, Eijkelhof (1990) destaca em sua produção um tópico a respeito das ideias que os estudantes tinham sobre o que saiu do reator da usina para a atmosfera. Segundo o pesquisador, alguns exemplos de respostas foram: "urânio", "plutônio", "césio", "iodo", "estrôncio", "vapor radioativo" e "materiais contaminados". Outros tipos de respostas foram rotulados como 'radiação', como 'radioatividade' e como 'outras respostas', como "energia nuclear", "fumaça" ou "veneno". Dessa maneira, é possível constatar que existe uma convergência de ideias pouco científicas associadas a situações que envolvem catástrofes nucleares, sobretudo quando analisamos que se trata de estudantes de diferentes épocas, níveis escolares e nacionalidades.

Quanto a dúvida de A. E. O. S, o pesquisador indicou que, embora se trate de duas situações que envolvam a emissão de radiação, o Urânio-235 empregado nas usinas nucleares fissiona em dois pedaços menores ao ser bombardeado com um nêutron, emitindo normalmente dois ou três nêutrons, gerando um processo chamado de reação em cadeia. Por outro lado, em uma bomba atômica, as fissões ocorrem todas em um intervalo de tempo muito curto, gerando uma explosão que culmina em uma enorme quantidade de energia liberada.

Quanto a associação realizada por A. E. O. S, Eijkelhof (1990) aponta em seu trabalho para o fato de que esse tipo de correlação entre bombas atômicas e a explosão de uma central nuclear não foi mencionada nas entrevistas com os estudantes que participaram das entrevistas. De acordo com o pesquisador, esses contextos são, de certa maneira, muito específicos para serem levados em conta em uma caracterização das ideias dos alunos sobre radioatividade e radiação ionizante; todavia o autor tenha caracterizado que exista uma correlação entre os vários

elementos de ambas as categorias, tais como entre **radiação**, **radioatividade** e **substâncias radioativas**, bem como entre **irradiação** e **contaminação**; **absorção** e **acumulação de radiação** e entre **atividade** e **dose radioativa**.

Já na segunda pergunta, o pesquisador apresentou dois tipos distintos de isótopos do iodo que são radioativos (o iodo-123 e o iodo-131). O pesquisador apontou que a principal diferença entre eles é o tempo em que cada um permanece no corpo, bem como a qualidade da imagem que é obtida por cada isótopo. Geralmente esses isótopos são produzidos a partir do decaimento de um determinado radionuclídeo (o iodo não é um dos elementos pertencentes a série radioativa do urânio-238). Essas reações ocorrem entre feixes de partículas e núcleos (alvos), produzindo novos núcleos e partículas e normalmente são realizadas em reatores nucleares ou aceleradores de partículas (ciclotrons). O pesquisador ainda destaca que não compreende em detalhes o funcionamento das etapas seguintes para a utilização desses elementos como marcadores radioativos em exames médicos.

Quanto a terceira questão, é apontado que, de fato existe a síndrome aguda da radiação, a qual consiste em um conjunto de sintomas clínicos associados a exposição do organismo a elevadas doses de radiação contínua. Todavia, a degradação dos tecidos epiteliais não é instantânea como ilustrado na série, aproximando-se mais a uma vermelhidão causada por uma queimadura.

Durante a explicação da terceira questão, um dos participantes fez a seguinte ponderação:

Eu fiquei pensando isso, porque eu me lembrei do caso do Césio, lá em Goiânia, porque quando a gente pesquisa e vê lá as imagens eu lembro do irmão do rapaz que era dono do ferro velho e que mostra que ele ficou com uma espécie de bola na mão, tipo um câncer. E aí eu fiquei pensando na Leide das Neves. A menina brincou com o material (radioativo), parece até que ingeriu! E daí eu fiquei imaginando: será que aconteceu assim com essa menina? (G. P. A)

O pesquisador prontamente respondeu que, no caso da série, existe toda uma dramatização envolvida, já que se trata de uma produção que é baseada em um acontecimento real. O pesquisador ainda reforça que essa cena pode conduzir as pessoas leigas a um pânico generalizado acerca das usinas nucleares e da própria exposição à radiação. Ao final da explicação o mesmo participante relata que:

É uma curiosidade que eu percebo na maioria dos alunos sobre o que que faz a radiação nas pessoas. [...] Eles associam muito à queimadura. (G. P. A)

Ao recorrermos ao trabalho de Alsop (2001), notamos que existe uma similaridade quanto as concepções relacionadas a queimaduras. De acordo com o autor, uma aluna que foi entrevistada relatou suas concepções quanto as consequências de se aproximar a mão de uma fonte radioativa. De acordo com a estudante, os efeitos da radioatividade seriam muito semelhantes, como, por exemplo, posicionar a mão sobre uma chama, fazendo que ocorram queimaduras e bolhas. Outra participante relata que, por possuir uma imagem da guerra nuclear a pele provavelmente deverá queimar e depois derreter. É possível concluir que o perigo e o medo são dois componentes significativos do conhecimento sobre a radioatividade presentes nos discursos dos estudantes, provavelmente pela associação a destruição causada pelas bombas atômicas e pelas imagens associadas ao acidente de Chernobyl.

Na quarta questão, o pesquisador apresenta que a falha no funcionamento das lanternas se deve ao alto índice de radiação presente em Pripyat após a explosão da usina de Chernobyl. Da mesma maneira que a radiação causa danos aos organismos biológicos, o alto índice de radiação deteriora os componentes eletrônicos dos aparelhos, especialmente os semicondutores. O pesquisador ainda relembra uma cena posterior, onde os soviéticos solicitam um robô da Alemanha para realizarem a limpeza dos detritos. O robô é ligado e anda por cerca de um metro até parar de funcionar, em decorrência do alto nível de radiação ionizante.

Na sequência, o pesquisador expôs a quinta questão, a qual discutia se os pacientes que estavam no hospital estavam contaminados. Antes de realizar a elaboração da resposta, um participante pediu a palavra para indagar o pesquisador no que diz respeito se os pacientes estavam contaminados ou irradiados. De acordo com o participante:

Eu fiquei pensando o seguinte: o bombeiro lá, teve um que tocou no grafite. Ai esse eu pensei assim, esse aí ficou contaminado, mas os outros eu não vi encostando em nada! E eu fiquei pensando que, pra enfermeira ter essa ação aí de deixá-los isolados, colocar aquele plástico e falar pra não encostar neles eles devem estar contaminados. Aí eu fiquei pensando, será que não foi aquela fuligem de grafite que estava caindo e eles inalaram e aquele negócio ficou no corpo deles de alguma forma? (G. P. A)

O pesquisador então, inicia a resposta das questões dizendo que todas as pessoas contaminadas também sofrem irradiação, uma vez que possuem nuclídeos radioativos dentro

ou fora do organismo (aqui o pesquisador relembra as cenas envolvendo os banhos nas pessoas e a lavagem nos veículos com o intuito de realizar a descontaminação). Todavia nem todas as pessoas irradiadas (como no caso da explosão da usina nuclear de Chernobyl) são contaminadas, apesar de estarem expostas à radiação emitida por átomos radioativos. Nesse momento, o pesquisador relembra aos participantes a diferença entre irradiação e contaminação: A irradiação é a exposição de um corpo à radiação, como por exemplo quando fazemos um exame de Raio X, ou quando ingerimos um rádio fármaco. Por sua vez a contaminação ocorre quando um material radioativo é absorvido de maneira indesejável pelo organismo. O pesquisador reforça que uma pessoa leiga após assistir essa cena, pode ser condicionada a pensar que, tendo feito a ingestão dessa fonte radioativa, ela passa a emitir radiação. Finalmente, o pesquisador aponta que os efeitos da radiação são variados, pois um indivíduo pode sofrer irradiação total ou fracionada de seus tecidos, bem como o tempo de exposição a essa radiação, por exemplo, se ela ocorre de uma única vez ou de maneira fracionada. Novamente são utilizados exemplos: o pesquisador menciona que no caso do tratamento de radioterapia, os pacientes são submetidos a uma irradiação fracionada e de baixa intensidade, enquanto no acidente de Chernobyl a exposição foi contínua e de alta intensidade.

Após a explicação, outra estudante questionou o pesquisador sobre o motivo de terem abatido os animais, destruídos algumas casas e terem revirado a terra. O pesquisador explicou que a morte dos animais silvestres funcionou como um “controle” para evitar que a contaminação por radionuclídeos se alastrasse para além da cidade. Devido a alta concentração desses isótopos radioativos em suspensão no ar, era provável que após uma tempestade esses isótopos fossem levados para o leito de rios e para o lençol freático, fazendo com que animais se alimentassem ou ingerissem água com elevado índice de radioisótopos, carregando-os durante toda a cadeia alimentar e causando uma situação de contaminação ainda maior.

Na sexta questão, a qual abordava se a presença de uma cortina de plástico envolta nos pacientes da usina indicava que a radiação que eles emitiam era do tipo alfa, o pesquisador contrapõe essa informação, indicando que a radioatividade internalizada dentro do organismo não é contagiosa. No caso de fluidos corporais como sangue ou suor é possível que haja indícios de radiação, contudo não existem evidências dessas situações após o acidente de Chernobyl.

Finalmente, na sétima pergunta que questionava a respeito da utilização do elemento químico boro para ser jogado dentro do reator aberto, o pesquisador então inicia sua resposta mostrando que alguns elementos como o boro, na forma de ácido bórico, possui a propriedade de capturar nêutrons, ou seja, a mistura de boro com chumbo e argila tinha como finalidade

absorver os nêutrons do vazamento nuclear, evitando que mais material radioativo fosse lançado para fora do reator.

O desenvolvimento dessa aula partiu de uma abordagem relacionada à formulação de perguntas por parte dos estudantes. Tal estratégia foi identificada nas produções de Lorencini Junior (2000); Faria (2007) e Machado e Sasseron (2012), onde existe um consenso desses autores quanto a formulação de perguntas e suas vantagens de sua utilização em aulas de ciências. Machado e Sasseron (2012, p.33) apontam que “problematizar é possibilitar ao estudante criar, pensar, explorar toda e qualquer forma de conhecimento e objetos de seu pensamento na busca pela solução”. Já Lorencini Junior (2000) destaca que situações que envolvem a formulação de perguntas possibilita que os estudantes interajam mais durante as aulas, motivando uma interação discursiva, baseada na formulação de uma questão, seguida de uma resposta que, eventualmente leva a uma nova pergunta. De acordo com o autor:

Na nossa análise, podemos admitir que as situações de formulação de perguntas e respostas entre professor e os alunos implicam a construção interativa do discurso na sala de aula, na qual as intervenções do professor são muitas vezes desencadeadas pelas respostas e reações dos alunos, de acordo com as quais o próprio professor reestrutura suas novas intervenções, que por sua vez influem nas novas perguntas e respostas dos alunos, e assim por diante. (2000, p.38)

Solicitar aos estudantes que apresentassem questões anteriores ao momento da aula foi uma estratégia que se mostrou interessante, uma vez que possibilitou novas discussões durante a aula, tornando-a mais dinâmica e participativa com estudantes que, até então, se mantinham alheios as discussões na sala virtual. É provável que muitos estudantes se sentissem acanhados ou mesmo desmotivados devido ao enclausuramento forçado pela pandemia de COVID-19. Trabalhos como os de Maia e Dias (2020); Wang et al. (2020) e Zhou et al. (2020) exploraram os impactos da quarentena causada em decorrência da pandemia sobre a saúde mental de estudantes universitários, principalmente quanto a sintomas moderados ou severos de estresse, ansiedade e depressão. Esses estudos apontaram que houve, de fato, um aumento considerável de efeitos patogênicos a saúde mental de estudantes universitários, muitas vezes potencializados pelas informações transmitidas pela mídia, acarretando sentimentos de tristeza e ansiedade. Nessas condições, é compreensível que alguns dos participantes da pesquisa não estivessem inclinados a participarem ativamente das atividades propostas.

Quanto as questões previamente enviadas pelo participante G. P. A, podemos tomar as *condições de produção*, definido por Pêcheux (1997, p.74) como “o conjunto de mecanismos

formais que produzem um discurso de tipo dado em ‘circunstâncias’ dadas”. Logo, o procedimento de produção de um dado discurso passa a ser constituído por um conjunto de dispositivos formais que produzem um discurso dentro de condições de produção definidas. Possenti (2004) ainda destaca, quanto as condições de produção que:

O fato de que cada um enuncia a partir de posições que são historicamente constituídas (fala-se como deputado de um partido, de uma frente de situação ou de oposição, e diz-se o que se deve e se pode dizer nessa condição). O que confere ou garante o sentido ao que o enunciador diz não é o contexto imediato em que está situado e ao qual se ligaram certos elementos da língua (embreadores) ou certas características do enunciado (implícitos), mas as posições ideológicas a que está submetido e as relações entre o que diz e o que já foi dito da mesma posição. (p.368)

Assim, é possível inferir que essas condições de produção estão diretamente relacionadas a características do enunciador e de seu lugar de fala. Nesse sentido, G. P. A apresenta um diferencial em relação aos demais participantes da pesquisa: a sua experiência docente. Provavelmente esse diferencial permitiu que ele tivesse maior autonomia na formulação das perguntas e, conseqüentemente, que suas perguntas apresentassem um nível de profundidade do ponto de vista conceitual que não identificamos nas questões formuladas durante a aula pelos licenciandos.

5.8 A AULA 08 – PROJETO MANHATTAN

Na aula oito, trabalhamos com os estudantes alguns aspectos do projeto Manhattan. Esse projeto, iniciado em meados de 1939 e finalizado oficialmente em 1946 teve como objetivo desenvolver a primeira bomba nuclear da história. De acordo com Reed (2014);

O Laboratório de Los Alamos foi o centro intelectual do distrito de engenheiros de Manhattan, e seu diretor de guerra, J. Robert Oppenheimer, é provavelmente a personalidade mais amplamente reconhecida do Projeto. A missão dos cientistas de Los Alamos e engenheiros era projetar as bombas que seriam alimentadas por os produtos de Oak Ridge e Hanford. Quando Oppenheimer assumiu a diretoria no início de 1943, ele pensou que exigiria apenas algumas dezenas de cientistas, técnicos e engenheiros para realizar essa tarefa. Mas as complexidades montadas rapidamente; na primavera de 1945, Los Alamos tinha mais de 2.200 funcionários, incluindo físicos experimentais e teóricos, químicos, metalúrgicos, especialistas em explosivos, engenheiros de artilharia, técnicos de eletrônica e instrumentação, gerentes, de negócios pessoal médico, maquinistas, desenhistas, bibliotecários e

fotógrafos. Em dois anos, Los Alamos desenvolvido no que foi provavelmente a física mais bem equipada laboratório de pesquisa do mundo. (p.19)

Já em 1944, o Projeto Manhattan contava com um número próximo de 130 mil trabalhadores, sendo 21 deles cientistas ganhadores do prêmio Nobel, alocados em diversos estados norte-americanos, trabalhando em fábricas, minas e reatores, com o objetivo de construir a primeira bomba atômica (OKUNO, 2018). No dia 16 de julho de 1945, às 05:30, no estado do Novo México, a experiência Trinity foi realizada com sucesso, sendo considerada o primeiro teste com um armamento nuclear da história. O céu noturno brilhava tão intensamente que algumas pessoas relataram que parecia que era dia. Um cogumelo de fumaça de 12 quilômetros de altura formou-se em decorrência da explosão. Poucos segundos após a explosão, uma onda de impacto percorreu dezenas de quilômetros. No epicentro da explosão, restou apenas uma cratera com cerca de três metros de profundidade e 300 metros de diâmetro. Exatos vinte e um dias depois, o mundo tomaria conhecimento do poder de destruição que esse dispositivo seria capaz de provocar. No dia 6 de agosto de 1945, às 9:14h, com a alegação de forçar a rendição japonesa e assim evitar uma invasão militar que poderia provocar a morte de milhares de soldados americanos, os Estados Unidos optaram por utilizar uma bomba atômica na cidade japonesa de Hiroshima, causando a destruição total da cidade japonesa e matando, imediatamente, cerca de 66 mil pessoas e 69.000, feridas. Três dias depois, “Fat Man”, uma bomba atômica de plutônio, foi jogada sobre Nagasaki. Após os ataques, o imperador Hirohito assinou a declaração de rendição e a segunda guerra oficialmente foi encerrada (STRATHERN, 1999).

O pesquisador, logo no início da aula, solicitou aos estudantes que respondessem a um questionário inicial. Nesse questionário, composto por três perguntas, indagamos os alunos quanto ao seu posicionamento no que diz respeito à construção da primeira bomba atômica da história da humanidade dentro daquele contexto na qual ela foi desenvolvida (Segunda Guerra Mundial). Abaixo estão listadas algumas respostas dos participantes:

Não. Muitos dos que defendem o projeto Manhattan se apoiam no argumento do fim da guerra, porém o Japão pouco apoio tinha para manter uma guerra contra os aliados. Portanto as bombas atômicas apenas foram uma forma dos EUA demonstrar seu poderio bélico. (V. G. P. S)

Não, antes de utilizar as bombas a guerra já havia sido decidida. Foi apenas uma demonstração de poder desnecessária. (E. D. B)

A bomba foi necessária para acabar com a guerra (G. P. A)

Sim, era necessário, para que pudéssemos contextualizar e visualizar o quanto de energia pode estar associada nessa situação, o que não é justificativa para usá-la como arma.
(B. C)

Contando com a preocupação dos Estados Unidos de uma possível bomba atômica alemã, acredito que para eles, na época, foi necessário para a guerra. (B.B.F)

Dentre todas as respostas, a sua grande maioria se posicionou contrária a construção da bomba atômica. Contudo alguns se posicionaram favoráveis ao desenvolvimento do artefato nuclear. Segundo Orlandi (2004);

Começaremos por dizer que a interpretação é uma injunção. Face a qualquer objeto simbólico, o sujeito se encontra na necessidade de “dar” sentido. O que é dar sentido? Para o sujeito que fala, é construir sítios de significância (delimitar domínios), é tornar possíveis gestos de interpretação. [...] Quando um sujeito fala, ele está em plena atividade de interpretação, ele está atribuindo sentido às suas próprias palavras em condições específicas. (p.64)

Esses gestos de interpretação estão atrelados a questões ideológicas que cada sujeito traz consigo e que, desse modo, faz com que o sujeito esteja fadado a significar. Ao ser indagado, o sujeito necessita se posicionar segundo suas convicções ideológicas, mesmo que o faça de modo comedido (seja por medo de retaliações, seja por saber que seu posicionamento ideológico possa ser considerado transgressor). Nos discursos produzidos, identificamos que os participantes B. B. F, G. P. A e B.C consideram que, de alguma maneira, que a construção da bomba fez sentido para aquele momento histórico, seja por se tratar de um mecanismo que colocaria fim à guerra, seja como uma forma de averiguação do poder de destruição da bomba.

Nessa perspectiva, Possenti (2009) aponta que a interpretação está associada a outros fatores da AD, tais como o sentido e o efeito de sentido, bem como a enunciação. Para o autor;

Voltando ao ponto: o sentido é um efeito de sentido porque resulta de uma enunciação (e não, simplesmente, dos signos, das palavras, dos enunciados, ou seja, da língua). O sentido não é apenas a contraparte do significante; ele é um efeito do aparecimento do significante em condições dadas. Mas ele não é, para a AD, seria importante dizê-lo, puramente um efeito do significante, mas um efeito da enunciação do significante em situações históricas mais ou

menos precisas. Nessa formulação o papel da enunciação é de fato mais relevante do que o papel do significante. (p.134)

Sob essa concepção podemos inferir quanto aos discursos que dentre as características supracitadas na obra de Possenti (2009) a que mais merece maior destaque é a concepção de que o sentido seja sempre bem definido e estável, mais do que a ideia de que esteja contido ou veiculado pelo significante. Em outras palavras, se é verdade que a relação entre significante e significado não é nem de transparência nem de representação exata, nem por isso podemos afirmar que simplesmente não há relação alguma entre discurso e sentido, sendo então a tarefa de “produzir” sentido exclusivamente ao contexto ou ao leitor, em diferentes versões pragmáticas. Externalizar toda responsabilidade de se atribuir sentido para o leitor ou para o contexto são formas alternativas de excluir qualquer fator histórico ou social.

No que diz respeito aos estudantes que se posicionaram contra a construção da bomba atômica, salientamos um trecho da produção de Cunha e Giordan (2009) na qual os autores apontam que;

As novas descobertas científicas da primeira metade do século XX e o preço a ser pago pelo desenvolvimento da Ciência marcaram os filmes até meados dos anos 1960. A ameaça representada pela energia atômica e as imagens da destruição de Hiroshima e Nagasaki mostraram no cinema uma Ciência que ameaçava a estabilidade da humanidade. O mundo se via diante de homens inteligentes e produtores de conhecimento que construíam uma Ciência que podia interferir na vida das pessoas. Além disso, a Ciência era mostrada como arma para efeitos militares e para demonstrar o poder das nações. (p.11)

Podemos interpretar que os participantes podem carregar sentidos adquiridos (dentre outras possibilidades como blogs, revistas, jornais, etc.) de produções cinematográficas que apresentam situações catastróficas que relacionavam os perigos das bombas nucleares e das radiações com o extermínio da raça humana.

Na segunda questão, abordamos novamente a mesma temática, porém dentro de um contexto completamente diferente: questionamos os participantes quanto ao desenvolvimento de uma bomba atômica atualmente. Os discursos selecionados são apresentados a seguir:

Não. Em períodos de guerra o uso de bombas atômicas já foi discutido e condenado, portanto em períodos de "paz" o seu uso não faria sentido. (V.G. P. S)

Não, visto que uma bomba atômica atualmente talvez iria contra todas as questões de ética e segurança com a vida humana, já que esse tipo de bomba ainda deixa resíduos de radioatividade onde é lançada. (L. Z. L.V)

Infelizmente sim, pois alguns países usam a questão do desenvolvimento bélico como forma de opressão em países alvos. (M.C)

Em um mundo ideal, acho que não. Talvez, hoje em dia, haja outras maneiras de mostrar superioridade mais pacíficas e sem implicação da morte de tantos inocentes, mas entendendo a criação de uma, pois serve para ameaçar e mostrar superioridade para outros países. (R. K. H)

Nosso questionamento teve como intuito verificar se as interpretações quanto ao projeto Manhattan mudariam ou se seriam mantidas. No que diz respeito aos discursos, a maioria dos participantes se mostrou contrária ao desenvolvimento e construção armas nucleares. Esse posicionamento pode estar atrelado ao medo de uma nova guerra mundial, a qual provavelmente seria travada pelas grandes potências utilizando esses arsenais nucleares. De acordo com Marcello Netto (2014)

Embora se discuta o potencial nuclear da Coreia do Norte, só o fato desta ameaça estar acontecendo durante o século XXI preocupou muita gente, gerando manchetes de notícias diárias e o medo de uma nova guerra em proporções desastrosas, caso tais armamentos nucleares fossem utilizados. Esse primeiro exemplo já nos permite compreender que o medo de um extermínio da humanidade ou de o aniquilamento de muitas pessoas, nas maiorias civis, por causa de uma arma de destruição em massa ainda assola o imaginário social (BACZKO, 1985) de vários grupos sociais atualmente. (p.7-8)

Conforme outros trabalhos que relatam o medo e a insegurança relacionados aos efeitos das radiações, tais como Koonings e Kruijt (1999), Oliveira (2016), Souza e Lima (2019) e Kamioji (2021), é possível averiguar a presença de sentimentos relacionados a angústia e a sensação de medo latente que a radiação é capaz de provocar, já que, diferente de outros perigos nos quais estamos suscetíveis, a radiação é algo insípido, inodoro e invisível e que causa diversas complicações à saúde humana. Essas sensações são motivadas essencialmente pelo conhecimento histórico dos efeitos maléficos que foram amplamente divulgadas ao longo dos anos, tendo seu início com o projeto Manhattan, passando pelas atroz consequências da explosão das bombas atômicas de Hiroshima e Nagasaki e alcançando seu ápice durante o período da guerra fria com o medo constante de um conflito nuclear.

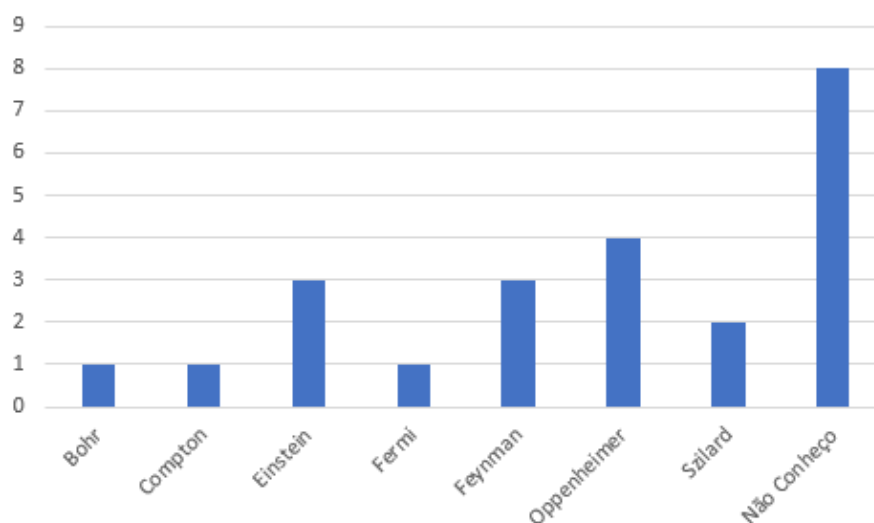
Kamioji (2021), destaca que:

O poder destrutivo das bombas ficou evidente, e com a renúncia do Japão, a Guerra acabou. Com o argumento de que se ocorresse uma guerra, a maior parte da humanidade seria destruída pela força enorme da energia atômica que podia ultrapassar as fronteiras de uma nação, a ideia de um governo mundial para controlar os armamentos e instituições foi debatido. No mesmo ano, foi fundada a ONU, uma organização supranacional, com a promulgação da Carta das Nações Unidas, assinada por 51 países, cujo Conselho de Segurança criou a Comissão de Energia Atômica (AEC) em 1946 para lidar com questões nucleares. (p.72)

De posse das análises quanto aos sentidos produzidos na segunda questão, inferimos que nas respostas dos participantes V.G. P. S e L. Z. L.V optaram por posicionar-se contra a produção de um artefato nuclear atualmente por irem contra preceitos de salvaguarda pautados, respectivamente por questões internacionais, tais como o Tratado de não Proliferação Nuclear, bem como por questões éticas, asseguradas pela Declaração Universal dos Direitos Humanos. Dessa maneira, ambos os participantes, pautados em suas formações discursivas contrárias a proliferação de armas nucleares, apresentam em seus discursos uma compreensão associada aos perigos da radiação atômica e entendem que essa prática (construção de novos armamentos nucleares) pode acarretar danos à espécie humana, levando ao seu extermínio.

Finalmente, a terceira questão pedia aos participantes se eles conheciam algum cientista que tivesse participado diretamente do projeto Manhattan e, em caso afirmativo, pudesse citar o nome de, pelo menos, dois desses cientistas. A seguir, apresentamos no gráfico 11 um quantitativo relacionado aos cientistas mencionados pelos estudantes:

Gráfico 11: Cientistas citados pelos estudantes como integrantes do Projeto Manhattan



Fonte: Próprio autor

Ao analisarmos as respostas dos participantes, notamos que a maioria deles não soube identificar sequer um cientista que participou diretamente do Projeto Manhattan, utilizando respostas tais como “não conheço”, “não sei” ou “desconheço”. Causou-nos certo espanto, visto que diversos cientistas que estiveram envolvidos no projeto são físicos ou químicos que estão associados a conceitos estudados na graduação. Um exemplo é o físico estadunidense Arthur Holly Compton, laureado com o prêmio Nobel de 1927 pela comprovação do “efeito Compton”, discutido nas disciplinas de Física Moderna. Outro cientista importante foi James Chadwick, físico britânico laureado com o prêmio Nobel de 1935 por provar a existência do nêutron. Nessa perspectiva, Orlandi (2004) aponta que;

O efeito de exterioridade, por sua vez, é que compõe ou torna possível, a nosso ver, a relação discursiva real/realidade. Sendo o real, função das determinações históricas que constituem as condições de produção materiais e a realidade a relação imaginária dos sujeitos com essas determinações, tal como elas se apresentam no discurso, ou seja, num processo de significação para o sujeito, constituído (ideologicamente) pelos esquecimentos: a) o esquecimento número 1, o que resulta na sensação do sujeito como origem e b) o esquecimento número 2, o que produz a impressão da realidade do pensamento. (p.39)

Desse modo, o esquecimento pode se caracterizar tanto como um agente que ameaça a existência da história quanto como uma força que proporciona a permanência de qualquer representação humana, isto é, o esquecimento representa uma abertura, que pode levar a memória a desfazer-se, bem como viabiliza a formação de uma memória social.

Por outro lado, cientistas como Albert Einstein e Niels Bohr foram consideradas respostas incorretas. O primeiro, sequer participou do projeto, embora a confusão na escolha do nome do físico alemão possa ter ocorrido graças a sua famosa equação, $E = m \cdot c^2$, a qual é possível verificar que existe uma relação direta entre massa e energia. Contudo, Einstein sempre foi um pacifista e assim, optou por não participar de um projeto que visava construir um dispositivo capaz de tirar vidas humanas (SAMAGAIA, 2001). Por sua vez, Bohr chegou a participar de uma parte do desenvolvimento do Projeto Manhattan, entretanto sua participação não foi como um dos cientistas que residiam em Los Alamos, mas sim como um consultor. Bohr compreendeu a ameaça que a criação do artefato nuclear teria para a humanidade e dessa maneira, em 1944, ele deixou o projeto e iniciou um movimento de utilização da energia nuclear exclusivamente para fins pacíficos. Esses enganos podem ser analisados, sob a ótica da AD, a

partir das noções de *memória* e o *interdiscurso*. De acordo com Orlandi (2001, p. 33) “todo dizer, na realidade, se encontra na confluência de dois eixos: o da memória (constituição) e o da atualidade (formulação). E é desse jogo que tiram seus sentidos.” Deste modo, existe habitualmente a manifestação de um já-dito, o qual correlaciona o discurso a uma memória. Essa memória, por sua vez está associada ideologia e a uma historicidade na qual o sujeito toma pra si como sendo sua e que estabelecem outros possíveis dizeres. Entretanto, o interdiscurso de um determinado sujeito está propenso a apresentar incoerências. Assim sendo, o discurso passa a apresentar características do deslize ou equívoco, relacionados à noção de polissemia, segundo o qual Orlandi (2001) estabelece como uma descontinuidade no processo de significação de um dado discurso, produzindo movimentos que afetam os sujeitos e os sentidos. Todavia, o equívoco, como o exposto nessa produção é oriundo justamente dessa ruptura, levando os enunciadores a apresentarem uma interpretação incorreta quanto a participação desses cientistas no projeto Manhattan.

Para a segunda parte da aula, apresentamos um panorama quanto ao Projeto Manhattan (cientistas que estavam envolvidos, valores gastos no desenvolvimento do projeto, etc.), além da exibição do experimento Trinity, considerado o primeiro teste nuclear da história. Após essa exposição utilizamos uma metodologia diferente no restante da aula, conhecida como ACE (Aprendizagem Centrada em Eventos), a qual, segundo Samagaia e Peduzzi (2004);

Em conformidade de objetivos com o CTS está a ACE (Aprendizagem Centrada em Eventos) (Watts, Alsop e Zylbersztajn, 1997; Souza Cruz e Zylbersztajn, 2001; Souza Cruz, 2001), que sugere como estratégia de ação a escolha de um evento de domínio público, preferencialmente polêmico e que seja pedagogicamente rico para possibilitar o desenvolvimento de atividades e discussões sobre os temas científicos, tecnológicos e sociais envolvidos. Dado o seu caráter contextualizador, a ACE parece contrapor, em certa medida, a impressão instrumentalista que o CTS pode muitas vezes conter. Através dessa abordagem, ressaltam-se relações sociais que cercam a ciência e seus objetos, valorizando menos a descoberta em si e mais o processo em torno do qual ela culminou. (p.261)

O pesquisador utilizou o trabalho dos autores supracitados como base para o desenvolvimento da parte final da aula. Durante a semana, foi solicitado aos participantes que, pelo menos dois deles se voluntariassem para a realização da atividade, a qual consistia em criar dois grupos, um favorável e outro contrário à construção da bomba atômica durante o período da Segunda Guerra Mundial. O objetivo dessa ACE era, a princípio, instigar os participantes que se voluntariaram a participar como defensores dos seus lados a pensarem dentro das condições temporais nas quais o governo estadunidense se encontrava e buscar argumentos que

fundamentassem suas posições ideológicas. A seguir apresentamos alguns trechos das falas dos participantes:

Eu sou contra primeiro porque o projeto já começou com uma questão alta de valores, e esses valores poderiam ser distribuídos de outras formas e não na construção de uma bomba. A outra questão é que não sabemos o quão grande vai ser a destruição disso (a bomba) porque a gente vai lançar uma bomba, mas não sabemos quanto será atingido em quilômetros ou sua profundidade ou o que vai ser destruído ali e se vai ser jogada num campo de batalha ou se vai ser jogada em qualquer lugar[...]. A terceira questão é que em uma guerra morre muita gente, não só pessoas que estão à frente, mas também civis [...] e a pergunta é: quais civis? Essa bomba vai somente atingir aqueles que estão no campo de batalha ou vão atingir todos? Vai atingir pessoas que estão ali passando fome, em condição de pobreza e vai matar aquelas pessoas e boa? E depois desse bombardeio, o que vai acontecer com aquelas pessoas? São nossos inimigos, mas também são seres humanos como a gente[...]. Quinta questão: Quais serão as consequências para nós, que lançamos a bomba, quanto para o lado que foi atingido? [...] Esse momento de guerra um dia vai passar e seremos julgados por isso, por possivelmente matar pessoas inocentes? Ou a gente vai ser glorificado? [...] Meu último ponto é que a gente vai fazer essa bomba, a gente vai gerar toda essa questão de um conflito, mas e depois? A gente vai abrir oportunidade para que outras pessoas de outros países e outras potências criarem também essa bomba? (L.Z.L.V)

Então o que eu penso; muitas coisas na história da humanidade elas acontecem de uma forma que nem sempre é a forma que a gente gostaria que fosse. Vou dar um exemplo bem esdrúxulo pra vocês entenderem: hoje a gente está numa época em que a gente precisa tomar a vacina pra ficar imunizado contra o coronavírus; mas vocês sabiam que existiu na história do nosso país uma época em que tomar vacina era uma coisa absurda? Houve até uma revolta a respeito disso (Revolta da Vacina). [...] E o que se pensava sobre a vacina? Que ela estava ali para matar as pessoas né? Mas o benefício que aquela dor trazia era um benefício maior, ou seja, ele sobrepujava aquela dor pequena; então eu quero que vocês tenham isso em mente. Era uma dor pequena em prol de um benefício maior; um benefício em prol de milhões. [...] E o ser humano tem isso dentro de si; é normal! A gente sempre tem medo do desconhecido. Eu vou falar o nome de umas pessoas aqui e gostaria que algumas pessoas aí no chat respondessem pra mim o que essas pessoas têm em comum: Otto Hahn; Max Planck; Albert Einstein; Werner Heisenberg. [...] Todos eles são alemães. [...] Ser a favor de construir uma

bomba atômica é uma questão complicada, mas eu tenho certeza de uma coisa: ter uma bomba atômica não é mais uma questão de necessidade; é uma questão de segurança; é uma questão de proteção! É o mesmo motivo pelo qual você vai dormir a noite e fecha a porta da sua casa. (G.P.A)

Após a fala dos participantes, o pesquisador então discutiu com os demais estudantes a visão deles quanto a construção de bombas atômicas na atualidade, apresentando um recorte de uma reportagem veiculada em dezembro de 2020 no site da Jovem Pan News (<https://jovempan.com.br/noticias/politica/comissao-do-senado-vai-analisar-proposta-que-sugere-bomba-atômica-brasileira.html>), na qual a comissão do Senado se propôs a analisar uma proposta que tem por finalidade a construção da primeira bomba atômica brasileira. Conforme a reportagem supracitada, uma consulta pública online atingiu 20 mil apoios para que esse projeto pudesse se transformar em uma sugestão legislativa. Isso significa que, a partir de agora esse projeto pode ser levado ao plenário para votação. Caso seja aprovado em votação, tanto pela Câmara quanto pelo Senado, o projeto pode ser apresentado com um projeto de lei ou uma Proposta de Emenda à Constituição (PEC). Na sequência, um dos participantes pediu a palavra para que pudesse expor sua posição:

Eu acho muito interessante essa discussão e pertinente e eu queria falar o seguinte: quando a gente olha pra questão do desenvolvimento e investimento em ciência, a partir desse episódio da bomba atômica, a gente começa a ver um certo aumento e incentivo maior à ciência e a pesquisa. Claro que outras coisas também influenciaram como, por exemplo, a corrida espacial, e isso não vem ao caso nessa discussão. Mas naquele momento, foi muito importante pra mostrar para um país (no caso os Estados Unidos), que o investimento em ciência pode ser muito importante para uma nação. Então naquele momento eu não vejo só o problema por mortes, mas também a questão do investimento em ciências e pesquisa, porque eles sabiam que esse investimento poderia gerar uma potência. Então eu vejo que naquele momento, aquele investimento foi importante pra isso. E para nós, futuros cientistas, é importante o investimento em ciência. [...] Naquele momento eu julgo importante sim (a construção da bomba atômica), mas agora não! (B.S.S, grifo nosso)

No que diz respeito aos discursos produzidos pelos estudantes, Orlandi (2008) destaca que o discurso, dentro da AD, está fundamentado na mediação entre o sujeito e a realidade que o permeia, articulando os aspectos da linguística e da ideologia. De acordo com a autora;

Considerando a linguagem como prática – isto é, como mediação necessária entre o homem e a sua realidade natural e/ou social – a Análise de Discurso vai articular o linguístico ao sócio-histórico e ao ideológico, colocando a linguagem na relação com os modos de produção social: não há discurso sem sujeito e não há sujeito sem ideologia. Há, entre os diferentes modos de produção social, um modo específico que é simbólico. Há, pois, práticas simbólicas significando (produzindo) o social. A materialidade do simbólico assim concebido é o discurso. (p.63)

Ao buscarmos interpretar os significados situados nos discursos não podemos nos esquecer de que a AD não considera o discurso como transmissão de informação. Trata-se de um processo de significação e que pode ser empregado para comunicar, uma vez que os sujeitos envolvidos são afetados pela língua, pela história e pelas suas posições ideológicas.

Dessa maneira, foi possível constatar que os dois participantes da ACE mantiveram seus discursos ideológicos alinhados com suas respostas apresentadas no questionário inicial, no qual foram indagados quanto a necessidade da construção da bomba atômica. Podemos então considerar que existe uma relação de sentidos, ou seja, existe um dizer que se relaciona com outros dizeres enunciados em outros momentos, porém que estão diretamente relacionados. Consequentemente, essa relação de sentidos dos sujeitos nos possibilita perceber o processo da formação discursiva, a qual, segundo Orlandi (2001) define que uma determinada formação ideológica determina aquilo que pode e deve ser dito pelo enunciator. De acordo com Orlandi (2001);

O discurso se constitui em sentidos porque aquilo que o sujeito diz se inscreve em uma formação discursiva e não outra para ter um sentido e não outro. Por aí podemos perceber que as palavras não tem um sentido nelas mesmas, elas derivam seus sentidos das formações discursivas em que se inscrevem. As formações discursivas, por sua vez, representam no discurso, as formações ideológicas. Desse modo, os sentidos sempre são determinados ideologicamente. Não há sentido que não o seja. Tudo que dizemos tem, pois, um traço ideológico em relação a outros traços ideológicos. E isso não está na essência das palavras, mas na discursividade, isto é, na maneira como, no discurso, a ideologia produz seus efeitos, materializando-se nele. (p.43)

Possenti (2009) destaca em sua produção a dificuldade existente em sustentar que o sujeito enunciator possui domínio sobre seu discurso, já que o discurso provém da história, bem como de outros discursos, assim como por instituições que têm seu devido funcionamento dentro da esfera social, independentemente dos sujeitos que nela se inscrevem. Entretanto, o autor aponta que determinantes exteriores presentes nos discursos podem ser identificáveis, sobretudo se forem os das circunstâncias, uma vez que são pouco numerosos e se repetem constantemente.

O discurso de B.S.S é um exemplo de uma situação de circunstância. Podemos interpretar que a sua fala, realizada após a exposição dos dois pontos de vista, se apresenta como uma tentativa de defender o uso da construção da bomba atômica partindo da premissa de que o governo dos Estado Unidos destinou uma grande quantidade de recursos financeiros para a ciência. Todavia, seu discurso se mostra contraditório a medida em que ele reforça insistentemente que durante a Segunda Guerra Mundial era necessária a construção do dispositivo nuclear, mas em nenhum momento ele destaca razões concretas, como, por exemplo, findar as batalhas ou exibição do poder bélico por parte dos Estados Unidos. Sua justificativa persistente em defender a construção da bomba permitiu que interpretássemos sua produção como uma forma de descontentamento à realidade que permeia todo o ensino superior atualmente, cada dia mais sucateado e com menores investimentos em pesquisas científicas e cortes constantes em bolsas de estudo. Entretanto, B. S. S parece não perceber que seu discurso, por mais que faça alusão a esse fato é contraditório, já que finaliza sua explanação defendendo que a construção de uma bomba atômica nos dias de hoje não se faz necessária. A dúvida que fica é se o participante apenas se apropriou do direito de expor sua posição para extravasar seu descontentamento com as políticas públicas que não investem em pesquisas no ensino superior ou se ele realmente acredita que os investimentos realizados “em ciência” pelo governo na elaboração do Projeto Manhattan justificam o produto final (artefato atômico).

5.9 A AULA 09 – BOMBAS NUCLEARES

A aula nove teve como enfoque as características e diferenças entre as bombas atômicas e das bombas termonucleares, também conhecidas como bombas de hidrogênio. O objetivo central consistiu em apresentar os diferentes tipos de reações que ocorrem em cada um dos dispositivos bélicos. A aula teve início com a solicitação do pesquisador para que os participantes respondessem a um questionário inicial, composto por três questões. Na primeira questão, indagamos os participantes quanto aos seus conhecimentos em relação aos efeitos causados pela detonação de um artefato nuclear. Vale destacar que todos os estudantes apontaram efeitos considerados conceitualmente corretos. A seguir estão indicadas algumas das respostas fornecidas pelos participantes:

Os efeitos altamente destrutivos são a explosão, a radiação, a energia térmica liberada e o pulso eletromagnético liberado. (E.D.B, grifo nosso)

Explosão (energia cinética forte o suficiente para destruir e arremessar objetos com velocidade mortal), liberação de energia térmica (queimaduras), liberação de radiação nociva e alteração do clima do local. (V.G.P.S, grifo nosso)

Nos discursos selecionados, foi possível identificar que existe uma convergência entre as respostas apresentadas. Os participantes apontaram efeitos similares presentes na produção de Ribeiro (2009), onde ele aponta para a razão pela qual um artefato nuclear é detonado ainda longe do solo. De acordo com o autor:

Contrariamente às armas convencionais, baseadas nas reações químicas das substâncias explosivas, a explosão nuclear tem múltiplos efeitos. Entre eles, os seguintes: a) onda de choque (entre outras coisas, sobre pressão na frente da onda de choque); b) irradiação luminosa (calórica); c) radiação penetrante inicial (instantânea); e d) radiação radioativa residual. Nos outros tipos de explosão, as correlações são diferentes. Na explosão terrestre, por exemplo, o efeito da radiação luminosa diminui 25%. A onda de choque, devido à pequena densidade do ar, não se produz de fato, razão pela qual quase toda a energia da explosão é consumida na radiação luminosa e na penetrante. Logo em seguida à explosão nuclear, e em consequência da temperatura bastante elevada, surge um intenso clarão da aquecida e luzente zona de ar ionizado: a bola de fogo. Na décima-milésima parte de segundo em que se produziu, na atmosfera, a explosão de uma megatonelada, o clarão da bola de fogo a cem quilômetros de distância (caso a atmosfera esteja transparente) é 30 vezes superior ao do Sol ao meio-dia em zona tropical. A radiação da bola de fogo compreende as radiações no lado visível e no dos raios infravermelhos, que se propagam à velocidade da luz. Por isso, a radiação luminosa atua sobre as pessoas e à sua volta antes da onda de choque. O efeito permanece durante todo o tempo do resplendor da bola de fogo, que dura vários segundos (calcula-se, por exemplo, que, se a explosão for de vinte quilotoneladas, na atmosfera, a radiação luminosa terá duração de cerca de três segundos, e que, se for de dez megatoneladas, a duração será de, aproximadamente, trinta segundos). A temperatura da radiação da zona luminosa chega entre 5700 e 8600 graus celsius. (p.150-151)

Da perspectiva da AD, Orlandi (2008) menciona em sua obra que existem muitos sentidos dentro de um dado discurso que eventualmente são atribuídos (e até mesmo esquecidos) inseridos em uma formulação enunciativa. Esses sentidos servem como uma espécie de “âncora” em que o sujeito se prende a um determinado discurso e que, por consequência, a um sentido específico, o que acarreta diferentes leituras, fruto da discursividade. Assim, a autora destaca que;

Há, por outro lado, um efeito de (autoria) leitura que faz com que haja historicização – mesmo na vida intelectual que tem seus cânones de leitura mais rígidos – deslocando gestos de leitura já postos em relação aos textos (de

arquivo). Leituras de Platão, por exemplo, que se constituem a partir de um efeito-leitor que deriva para outros sentidos, ainda não experimentados em seus textos. (p.66)

Outro aspecto interessante diz respeito as análises realizadas por Eijkelhof (1990), a qual indica que as consequências imediatas das explosões nucleares são discutidas de maneira adequada pelo projeto educacional dos Países Baixos, embora ele aponte que alguns livros ignoram as armas nucleares ou mencionam apenas os processos de fissão e fusão nas bombas nucleares. Por exemplo, a energia nuclear foi discutida de forma bastante detalhada na maioria dos livros; contudo, a maior parte do tratamento centralizou-se no funcionamento do reator nuclear e não na emissão de substâncias radioativas. Tal situação pode ter levado alguns estudantes a elaborarem respostas conceitualmente equivocadas, do tipo comparar a radiação utilizada para esterilizar alimentos (por meio do processo de irradiação) com a radiação de uma bomba atômica (porém menos perigosa).

Outra concepção equivocada aparece na produção Gutiérrez et al. (2000), na qual alguns estudantes da educação básica apontaram que existe a possibilidade de que uma pilha comum seja capaz de transformar energia nuclear em outra forma de energia. De acordo com os autores, é elevado o percentual dos estudantes que afirmam desconhecer a questão da fissão nuclear causada a partir da reação que acontece em uma bomba atômica. Outro aspecto destacado pelos autores é a falta de conhecimento dos participantes quanto as usinas nucleares que operam na Argentina (atualmente são três).

Showers (1986) estudou os efeitos da informação e mensagens persuasivas sobre as atitudes dos alunos do ensino médio em relação à uso de energia nuclear. Em sua pesquisa, o autor realizou perguntas para avaliar o nível de conhecimento de 232 alunos da educação básica que não estudaram energia nuclear em qualquer uma de suas aulas. Nesse questionário, ele incluiu algumas das que ele chama de "questões do mito nuclear". Ao analisar as respostas dos participantes ele notou que cerca da metade dos alunos concordaram com a seguinte afirmação: "embora seja improvável, uma usina nuclear pode explodir como uma bomba nuclear". Todos esses trabalhos indicam a importância e a necessidade do ensino adequado voltado para as características dos processos como a fissão e a fusão nuclear, bem como as diferenças envolvidas no processo de fissão em uma usina nuclear e no desencadeamento de uma detonação de uma bomba atômica.

Na segunda questão, solicitamos aos estudantes que apontassem quais as consequências de uma explosão de uma bomba atômica no espaço e se eles acreditavam que seria mais destrutivo do que na Terra. Abaixo estão listadas algumas das respostas selecionadas:

Acho que não, penso que só a radiação neste caso poderia causar danos. (O.V.S)

Acredito que não seria nada destrutivo por não ter nenhum átomo para entrar em contato para realizar as fissões/fusões nucleares. (J.C)

Acredito que seria menos destrutiva na Terra. Se está no espaço, então está mais longe de nos atingir. (R.K.H, grifo nosso)

Sim, pois na terra temos a atmosfera que segura a expansão da radiação, por isso, temos um raio de segurança, no espaço eu acredito que não teríamos isso, então seria incontrolável. (B.S.S, grifo nosso)

A ideia ao propor essa questão era verificar se os estudantes conseguiriam relacionar as consequências da explosão de uma arma nuclear (as quais apareceram nas respostas da questão anterior) com uma situação atípica (ausência de matéria). Como citado anteriormente, as consequências de uma detonação desse tipo de armamento ocasionam, na Terra: onda de calor; onda de choque e emissão de radiação ionizante. Entretanto, no espaço, os dois primeiros efeitos não ocorrem, devido ao vácuo. Nessas condições a única consequência da explosão de um artefato nuclear seria a emissão de radiação. Os discursos de O.V.S e J.C estão de acordo com essas condições.

Por outro lado, R.K.H e B.S.S apresentam em seus discursos conceitos relacionados à distância para justificar que no espaço os efeitos seriam menores se comparados a uma detonação na Terra. Do ponto de vista conceitual existe um erro considerável, uma vez que, se compararmos a distância em relação ao solo entre a detonação de uma arma nuclear, como no caso de Hiroshima (que ocorreu aproximadamente a 9,5 km de altura) e uma detonação no espaço (levando em consideração a estimativa da Federação Internacional de Aeronáutica que é de cerca de 100 km) a diferença entre as distâncias não pode ser considerada um fator de minimização de efeitos. Outro fator que reforça nossa afirmação é que o Sol se encontra-se a aproximadamente 150 milhões de quilômetros da Terra e quando ocorre o fenômeno conhecido como “Tempestade Solar” no qual partículas carregadas são ejetadas da magnetosfera solar e viajam pelo espaço, atingindo o campo magnético da Terra, são responsáveis pelo fenômeno da aurora boreal e em casos mais extremos, danos a equipamentos de telecomunicações.

No que diz respeito aos discursos, recorremos à obra de Orlandi (2001), na qual a autora expõe que;

Ao dizer, o sujeito significa em condições determinadas, impelido, de um lado, pela língua e, de outro, pelo mundo, pela sua experiência, por fatos que reclamam sentidos, e também por sua memória discursiva, por um saber/poder/dever dizer, em que os fatos fazem sentido por se inscreverem em formações discursivas que representam no discurso as injunções ideológicas. (p.53)

Da mesma forma, a autora supracitada cita que o “trabalho do analista de discurso é mostrar como um objeto simbólico produz sentidos” (ORLANDI, 2004, p.80). Assim, é provável que os discursos produzidos por R.K.H e B.S.S possa ter sido fruto de um engano ao buscar considerar que efeitos relacionados à distância podem ser minimizados, porém se esquecendo que as radiações são ondas eletromagnéticas que viajam à velocidade da luz. Essa interpretação nos parece mais plausível tanto pelas condições imediatas de produção, as quais os participantes estavam submetidos, já que os questionários foram realizados anteriormente à aula e, talvez, eles possam ter se equivocado ao interpretarem o fenômeno partindo de uma perspectiva similar aos estudantes entrevistados por Eijkelhof (1990), onde quase todos os participantes assumiram que a radiação tem um certo ponto de partida, que sua intensidade pode variar e que a radiação se torna mais forte perto da fonte (esse último aspecto, inclusive parece uma boa motivação para os discursivos produzidos e analisados em nossa produção).

Na última pergunta, indagamos os participantes quanto à compreensão destes sobre enriquecimento de urânio. Abaixo listamos algumas das respostas:

A técnica de enriquecer o urânio é torná-lo mais concentrado em seus isótopos 235, que é utilizado na fissão para produzir energia. Separa-se esse urânio dos seus isótopos 238 para obter uma maior concentração. (A. E. O. S)

Acho que "melhorar" o Urânio, aumentar sua capacidade de realizar trabalho. (E. B, grifo nosso)

Pelo que me lembro de um vídeo do manual do mundo, quando ele visita angra dos reis, enriquecimento do urânio seria aumentar a capacidade energética dele, para que na fissão nuclear ele consiga gerar uma alta quantidade de energia. (B.S.S, grifo nosso)

Do ponto de vista conceitual, os discursos produzidos pela maioria dos estudantes estão adequados ao que se espera de uma explicação acerca do enriquecimento de urânio, uma vez que o processo de enriquecer uma amostra de urânio consiste em aumentar a capacidade energética do urânio natural (no caso, o isótopo mais abundante, o U^{238}). Para isso, é necessário aumentar a concentração do isótopo de U^{235} , responsável por produzir as fissões nucleares que irão resultar na energia que será gerada nos reatores.

Consideramos importante que licenciandos em Física possuam uma compreensão quanto ao conceito de enriquecimento de urânio, visto que Souza (2010) aponta em sua produção que dados divulgados pela Agência Internacional de Energia (AIE), estima um crescimento de 57% no consumo mundial das diversas formas de energia entre o período de 2004 e 2030, em virtude da alta demanda de energia mundial. No que diz respeito a energia nuclear, o consumo médio deve aumentar cerca de 1,3% nesse período, com maior concentração nos países em desenvolvimento, onde a demanda avaliada é de 4,2%. Ainda segundo o autor:

O urânio encontrado na natureza, sob a forma de dióxido de urânio (UO_2), é composto de cerca de 99,3 % do isótopo U^{238} e 0,7 % de U^{235} . Este último, diferente do U^{238} , é um material fissil, ou seja, que sofre fissão causada apenas por nêutrons de baixa energia (nêutrons térmicos). O enriquecimento de urânio consiste, portanto, no aumento da concentração do U^{235} que, nos combustíveis dos reatores, deve ser de 2-4 %. Uma bomba atômica, por outro lado, é construída com urânio enriquecido a 95 % (p.151)

Ao confrontarmos nossos dados com os de Eijkelhof (1990), verificamos em sua produção que os alunos entrevistados mencionaram como aspectos relacionados ao enriquecimento de urânio duas situações bem distintas: na primeira delas, quando indagados sobre a origem da radiação na qual os alimentos são tratados, os participantes responderam com termos como “substâncias especiais”, “elementos” e “isótopos”; enquanto alguns alunos mencionam urânio enriquecido, plutônio, irídio e estrôncio. Na segunda situação, quando interrogados quanto à produção de resíduos radioativos, eles mencionaram que a origem desse produto estava relacionada a usinas nucleares, foram hospitais (raios X), instalações de irradiação de alimentos, armas nucleares, submarinos nucleares e fábricas de enriquecimento de urânio.

Em nossas interpretações quanto aos discursos produzidos pelos nossos estudantes, mais especificamente os discursos de B.S.S e E.G.B é possível notar algumas especificidades. Ao analisarmos a resposta de E.G.B, destacamos o uso do vocábulo *melhorar* na elaboração de seu discurso. Nas palavras de Orlandi (2004):

Quando o sujeito fala, ele está em plena atividade de interpretação, ele está atribuindo sentido às suas próprias palavras em condições específicas. Mas ele o faz como se os sentidos estivessem nas palavras: apagando-se suas condições de produção, desaparece o modo pelo qual a exterioridade o constitui. Em suma, a interpretação aparece para o sujeito como transparência, como o sentido lá. (p.65)

O emprego do vocábulo *melhorar* nos permite interpretar que E.G.B buscava reforçar que o enriquecimento de urânio possibilita um aumento na capacidade energética do urânio natural (aumentar sua capacidade de realizar trabalho). Podemos notar em seu discurso que o termo *melhorar* pode ser interpretado como um aprimoramento desse urânio, dando a sensação de que o U^{238} seria um isótopo “ruim” para o processo de obtenção de energia o que de certa forma faz sentido, já que somente o U^{235} é, de fato, capaz de sofrer fissão nuclear. Todavia, o enriquecimento não faz com que o urânio aumente sua capacidade de realizar trabalho e sim que seja capaz de realizar trabalho (nesse caso, tornando-se físsil). Orlandi (1998) mostra que a noção de interdiscurso está diretamente relacionada com a ideologia e o inconsciente, assim como a maneira com que ambas refletem na linguagem. Dessa maneira, toda vez que falamos, para que nossas palavras tenham sentido, é preciso que já tenham sentido. Quando se produz um discurso, criamos redes de filiação de sentidos que estão sujeitos a gestos de interpretação e por causa dessas condições, alguns discursos apresentam diferentes possibilidades de interpretação. É provável que E.G.SB tenha utilizado o termo *melhorar* entre aspas somente como um mecanismo sintático para enfatizar seu discurso; entretanto não podemos excluir a possibilidade de intencionalidade (e conseqüente deslize) do sujeito ao elaborar seu discurso na escolha das palavras e da forma com que optou em estruturá-lo.

Já no discurso de B.S.S, identificamos que ele se apropria da noção de interdiscurso, ao mencionar um canal do YouTube especializado em produzir conteúdos relacionados a ciência. Em seu discurso, B.S.S faz uso dessa referência como forma de se apropriar de um saber científico (um já-dito) e o explicita como um mecanismo que, em tese, o auxilia a justificar a sua resposta, dando a ela “sustentação” conceitual. Orlandi (2004) ao expor o conceito de interdiscurso, define-o da seguinte maneira;

A noção que trabalha a exterioridade discursiva (ou exterioridade constitutiva) é a de interdiscurso. O que define o interdiscurso é a sua objetividade material contraditória, objetividade material essa que, como diz M. Pêcheux (1988), reside no fato de que algo fala sempre antes, em outro lugar e independentemente, isto é, sob a dominação do complexo das formações ideológicas. É isto que fornece a cada sujeito “a sua ‘realidade’ enquanto

sistema de evidências e de significações percebidas-aceitas-experimentadas”. Aí se explicita o processo de constituição do discurso: a memória, o domínio do saber, os outros dizeres já ditos ou possíveis que garantem a formulação (presentificação) do dizer, sua sustentação. (p.39)

O canal citado no discurso de B.S.S conta com mais de 16 milhões de inscritos. Os responsáveis pelo conteúdo, contudo, não possuem formação em áreas científicas (sendo um formado em jornalismo e a outra em terapia ocupacional). Diante dessa constatação, identificamos na publicação de Torresi, Pardini e Ferreira (2012) que quem seria capaz de auxiliar os cientistas na tarefa de difundir seus trabalhos e consequentemente conceitos à sociedade seriam os profissionais do Jornalismo Científico. Rublescki (2009) aponta em seu trabalho que o Jornalismo Científico age como um dos componentes de junção entre a sociedade em geral e a comunidade científica. Ao profissional que lida com essa categoria jornalística cabe adequar o papel informativo/divulgador das notícias/reportagens científicas com as regras, princípios e rotinas produtivas da imprensa. Ainda segundo Rublescki (2009):

Faz-se necessária aqui uma primeira discussão conceitual sobre o Jornalismo Científico. Frequentemente ele é pensado por sua faceta com a Ciência, recaindo a análise da expressão no termo “científico”. Contudo, defende-se que o Jornalismo Científico é, antes de tudo, Jornalismo, estando, portanto, sujeito às mesmas rotinas produtivas, práticas profissionais e normas empresariais de qualquer outro jornalismo, geral ou especializado. (p. 408)

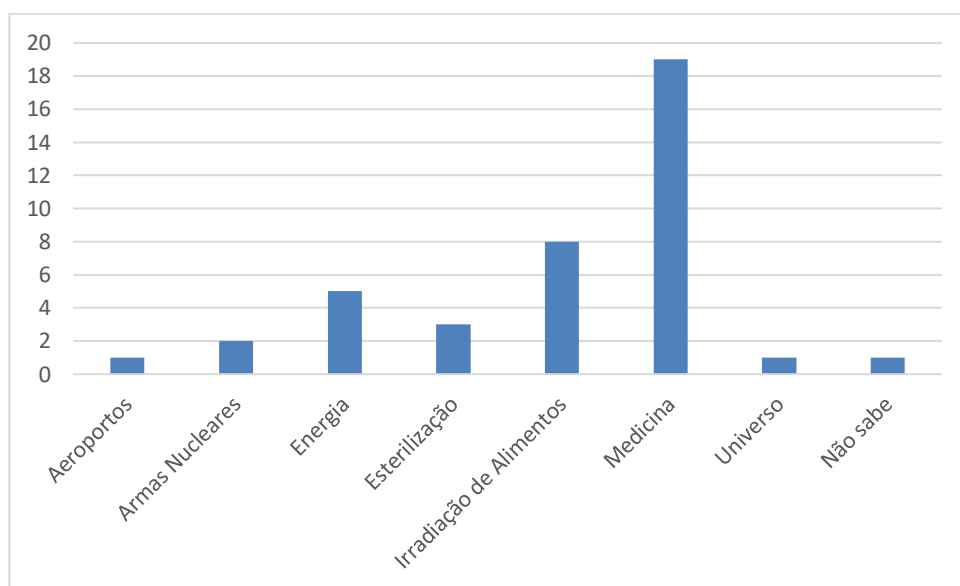
O objetivo dessa produção não é analisar o papel do Jornalismo Científico, tampouco exprimir qualquer crítica ou pontuar suas potencialidades. Nosso objetivo está em analisar os discursos e buscar interpretá-los a luz da AD. Dito isso, recorremos a obra de Orlandi (2004) na qual a autora exprime que o espaço no qual o analista se debruça (o discurso) é a peça significativa que resulta de um “sítio significante” com a exterioridade. Ao analisarmos o discurso de B.S.S devemos considerar que o estudante fez uso de sua memória histórica, a qual o participante estabeleceu sua rede de filiações para construir seu discurso, resgatando uma memória que se mostrou importante em algum momento anterior à aula e que o ajudou na elaboração de sua resposta.

5.10 A AULA 10 – APLICAÇÕES DA RADIAÇÃO IONIZANTE

Na décima aula discutimos aspectos relacionados às aplicações da radiação ionizante. Ao iniciarmos a aula, foi solicitado que os alunos respondessem um questionário prévio,

contendo duas perguntas. A primeira questão solicitava que os participantes informassem se conheciam alguma aplicação para as radiações ionizantes. No gráfico 12 apresentamos o quantitativo das respostas fornecidas pelos estudantes. Vale destacar que um mesmo estudante respondeu mais de uma aplicação.

Gráfico 12: Aplicações das radiações ionizantes segundo os estudantes



Fonte: Próprio autor

Ao analisarmos os dados, identificamos que o conhecimento quanto as aplicações das Radiações Ionizantes se concentram na área médica, sendo que nesse grupo inserimos todas as referências a exames médicos (Raio X, tomografia, radioterapia, etc.). Nossos dados corroboram com os resultados obtidos por Eijkelhof (1990), os quais apontaram os alunos parecem estar bastante familiarizados com alguns contextos, dentre eles as aplicações médicas, energia nuclear e resíduos nucleares, e menos com outros, como irradiação de alimentos e sobre os riscos associados ao gás radônio. O autor aponta que dentre as razões possíveis para essas causas estariam as influências sociais; uma vez que o trabalho supracitado foi desenvolvido no mesmo período em que o acidente de Chernobyl ocorreu, por isso um conhecimento maior sobre assuntos relacionados a energia nuclear e aos resíduos. Outro aspecto que vale a pena ser destacado é que, de acordo com a obra de Eijkelhof (1990), diversos especialistas consideraram assuntos como radiação de fundo, aplicações médicas e radiação nuclear como importantes para estarem presentes no currículo dos estudantes dos Países Baixos. Dessa maneira, é provável que esses temas já eram tratados durante a formação inicial desses estudantes.

Na segunda questão, indagamos os participantes se conheciam a imagem representada na figura 06 (radura) e se sabiam qual o seu significado. Listamos abaixo algumas respostas selecionadas:

Sim, em embalagens de alimentos. Este selo representa que os alimentos foram irradiados para estenderem suas validades e características. (E. D. B)

Se não me engano é o símbolo que indica que um alimento é irradiado. (A. E. O. S)

Já sim. Em alimentos irradiados. Significa que o alimento passou por uma quantidade controlada de radiação ionizante. (B. B. F)

Surpreendeu-nos o fato de que, na questão anterior, a segunda opção mais respondida pelos participantes acerca das aplicações das radiações ionizantes foi a sua utilização na irradiação de alimentos (oito estudantes) e que somente quatro estudantes mencionaram conhecer o símbolo que representa a irradiação de alimentos. Cabe ainda destacar que os demais participantes responderam com frases como “nunca vi esse símbolo”

O símbolo representado na figura 08 é conhecido como “radura” e indica que um produto alimentício foi irradiado. De acordo com Couto e Santiago (2010) há regulamentação quanto a irradiação de alimentos desde 1973. O órgão regulamentador brasileiro que fiscaliza o limite das doses irradiadas em alimentos (a ANVISA) mantém como optativa a inclusão da radura. Contudo, o FDA (Food and Drug Administration) americano, desde 1986, tornou compulsório o uso símbolo internacional do uso da radiação ionizante nos alimentos irradiados que são comercializados nos EUA. Ainda segundo os autores;

Atualmente todas as normas para o emprego desta tecnologia estão descritas na Resolução no 21 de 26 de janeiro de 2001, aprovada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que não restringe quais alimentos podem ser irradiados desde que a dose máxima absorvida seja inferior àquela que comprometa as qualidades funcionais e sensoriais do alimento, e que a dose mínima seja suficiente para alcançar o objetivo pretendido. Também, por intermédio da Resolução RDC 21, ficou estabelecido que todo produto tratado por energia ionizante deve ser rotulado, e em seu rótulo deve constar a frase: “alimento tratado por processo de irradiação” (p.200)

No que diz respeito aos discursos dos estudantes, Gregolin (2001) indica que a interpretação não se limita a decodificação dos signos, tampouco se reduz ao desvendamento de sentidos exteriores ao texto. Nas palavras da autora a interpretação é uma combinação de ambas as coisas: da leitura dos gestos que mostram a rede de discursos que abrangem os sentidos (muitas vezes implícitos nos discursos), bem como o movimento da contradição e do deslocamento provocados pelos signos. Traçando um paralelo com a produção de Orlandi (2011) a qual se dispõe a descrever os aspectos relacionados a formação discursiva que é caracterizada, nas palavras da autora, pelas marcas estilísticas e tipológicas que se constituem na relação da linguagem com as condições de produção.

A questão da formação discursiva vai ao encontro das respostas produzidas pelos estudantes. Conforme destacamos, foi interessante observar que boa parte dos estudantes jamais observou o símbolo da radura. Ao realizar um levantamento rápido, o professor pesquisador também não identificou essa imagem em qualquer produto alimentício. Isso gerou a seguinte dúvida: Onde e em quais condições os estudantes observaram esse símbolo? É provável que tenham percebido a existência desse símbolo na internet ou em algum outro veículo de comunicação, uma vez que os produtos alimentícios identificados pelo professor-pesquisador não apresentaram o símbolo.

Após a aula, solicitamos aos estudantes que respondessem a um questionário pós-aula, relacionado a segunda parte da aula, o qual discutimos acerca da utilização de notícias científicas no processo de ensino-aprendizagem no ambiente escolar. Nesse questionário, composto por duas perguntas, buscamos identificar aspectos presentes nos discursos dos estudantes que levassem (ou não) a utilização dessa abordagem enquanto futuros professores. Para tanto, foram selecionadas duas reportagens científicas relacionadas a temática das radiações ionizantes. A primeira reportagem, extraída da BBC News Brasil apresentava o seguinte título: “O polêmico plano do Japão para água radioativa da usina de Fukushima”. Segundo a matéria, o governo japonês pretendia lançar mais de um milhão de toneladas de lixo radioativo no mar provenientes da usina nuclear de Fukushima. Já a segunda reportagem selecionada, retirada do periódico português Diário de Notícias, veiculava uma reportagem com a seguinte chamada: “Fake News sobre água radioativa causam medo em Paris”. De acordo com a reportagem, uma suposta enfermeira enviou uma mensagem em um aplicativo de mensagens onde informava uma suposta "presença de titânio", que teria sido registrada nas análises à água da rede pública de Paris e que as pessoas deveriam evitar consumir a água da torneira.

De posse dessas notícias, solicitamos aos estudantes que realizassem a leitura de ambas e respondessem as seguintes questões: De que maneira você utilizaria cada uma das notícias selecionadas para abordar um determinado conteúdo científico? Que aspectos devem ser levados em consideração pelos professores no momento da escolha de uma notícia? Apresentamos algumas respostas elaboradas a seguir:

A primeira seria utilizada para discutir a natureza da radiação e a interação da radiação com a matéria. A segunda eu usaria para tratar dos níveis de segurança em relação a exposição à radiação. E sobre a constante exposição à radiação que sofremos no dia a dia. (V.G. P. S)

A primeira notícia eu focaria em mostrar como os jornalistas tratam radiação como algo perigoso, analisando a maneira como o vídeo foi feito. Sempre mostrando a parte ruim, com um aspecto visual e musical triste, trazendo sensação de medo, espanto, atenção. Isso é um senso comum, e é notável que muitas pessoas, inclusive instituições (governos) não conhecem muito sobre o tema. A segunda notícia viria como uma contramão a primeira, desmentindo fake News sobre água ser radioativa. Através dela eu focaria na maneira de abordar notícias e verificar se aquilo é mesmo fato, se o modo como eles estão tratando a radiação é convergente com a verdade. Novamente, é notável que as pessoas não conhecem nada sobre o tema, assim como na primeira notícia, mostrando uma enorme defasagem no ensino nas escolas. (G.V, Grifo nosso)

No que diz respeito a abordagem explorada pelos participantes, Orlandi (2004) indica que:

A Análise de Discurso trata a questão, da interpretação restituindo a espessura da linguagem e a opacidade aos sentidos. Ela propõe, então, uma distância, uma desautomatização da relação do sujeito com os sentidos. Na perspectiva formalista, a proposta para se fazer ciência é “tornar estranho o que é familiar”. Porque o que nos é familiar, não conhecemos, só reconhecemos. (p.99)

No primeiro discurso, o participante exploraria o uso das notícias para discutir aspectos conceituais da radiação, bem como a sua natureza. Já na segunda notícia propõe o uso da notícia para apresentar conceitos relacionados aos níveis de segurança relacionados a exposição contínua às radiações. Como a pergunta elaborada pelo pesquisador foi muito genérica, entendemos que o participante buscou expor particularidades das radiações do ponto de vista conceitual e não das possibilidades do ponto de vista pedagógico. Em nossa análise, isso indica

uma preocupação maior com os conceitos do que com a forma com que o estudante abordaria essa temática.

Já no segundo discurso foi possível constatar que há uma preocupação maior com a prática pedagógica como no trecho destacado: *“eu focaria na maneira de abordar notícias e verificar se aquilo é mesmo fato, se o modo como eles estão tratando a radiação é convergente com a verdade”*. Contudo, o participante não explicita a maneira como faria para realizar a verificação da notícia. Nesse mesmo discurso nos saltou aos olhos os trechos onde o participante reafirma que as pessoas e as instituições nada sabem sobre radiações e seus efeitos, reforçando o estereótipo do modelo de ensino tradicional, onde o aluno é tido como uma “tábua rasa” e possui uma postura passiva, como receptor dos conhecimentos transmitidos pelo professor, enquanto o professor é o “detentor de todo o conhecimento” e tem papel central no processo de aprendizagem. Ademais, o discurso ainda faz uma crítica quanto a defasagem do ensino nas escolas, sem especificar qual parâmetro é utilizado para a realização da crítica e novamente sem apontar soluções em seu discurso (mesmo que esse não fosse o objetivo dessa pergunta). A sensação ao analisar esse discurso foi a de um estudante indignado com o ensino e que se utilizou da oportunidade dada pelo questionário para expressar todo seu descontentamento.

Quanto a segunda questão, relacionada às características que poderiam ser levados em consideração pelos professores no momento da escolha de uma notícia para ser trabalhada em sala de aula, expomos algumas respostas produzidas abaixo:

Muitos aspectos devem ser levados em consideração, destaco o conhecimento dos parâmetros curriculares nacionais para situar uma base do que será desenvolvido em sala de aula e principalmente as fontes de notícias e ou qualquer outro material didático. Hoje em dia ficou muito famoso o termo "fake News" para notícias sem base científica para "desinformar" as pessoas. Utilizadas como ataques políticos com títulos sensacionalistas para mascarar uma mensagem sem informações relevantes. (G.M.G)

A notícia deve ser feita com clareza e sempre elencando pontos importantes do tema de modo que faça quem ler entender do que se trata. Obviamente que deve possuir forte veracidade, e quem escreveu ou a pessoa que revisou deve conhecer o tema dito. As fontes também devem ser claras, pois é importante dizer de onde veio o estudo e de onde os fatos surgiram. Sou contra qualquer sensacionalismo, até mesmo para atrair pessoas. Um exemplo: "Buraco negro gigante engole estrelas e planetas". Por mais que a notícia elenque pontos verídicos sobre

buracos negros, o título é extremamente sensacionalista e, caso a pessoa apenas leia sem clicar na notícia, ela vai acreditar que buraco negro é um pac-man gigante que engole tudo. O título pode ser atrativo, mas sem conter senso comum. (G.V)

O professor deve escolher uma notícia científica de acordo com suas intenções. Por exemplo, caso o docente queira evidenciar erros conceituais, pode-se visar notícias com embasamento científico baixo. Já se quiser comentar a forma como os conceitos são veiculados na mídia e quais suas consequências, pode-se buscar notícias com embasamento científico mais elevado. Em suma, os professores devem se atentar, na escolha de uma notícia, em verificar se as informações científicas contidas são relevantes para sua intenção didática. (H.V.R)

Observamos uma convergência nos discursos dos estudantes quanto ao cuidado em selecionar notícias científicas, já que, em todos os discursos os participantes expõem que os docentes devem se atentar a questões como erros conceituais, o domínio do professor em relação a temática abordada na reportagem e a presença de notícias falsas (fake News) que acabam sendo veiculadas e compartilhadas. Orlandi (2004) destaca que:

A noção de interpretação passa por ser transparente quando na realidade são muitas e diferentes suas definições. Na maior parte das vezes os teóricos a utilizam como se ela fosse evidente. A sua importância, no entanto, a coloca como objeto de atenção e estudo, pois, embora ela seja mais relevante para as ciências da linguagem, ela está presente no exercício das ciências humanas, em particular, e de qualquer ciência, em geral. [...] A interpretação está presente em toda e qualquer manifestação de linguagem. Não há sentido sem interpretação. Mais interessante ainda é pensar os diferentes gestos de interpretação, uma vez que as diferentes formas de linguagem, com suas diferentes materialidades, significam de modos distintos. (p.9)

No cenário atual, o monopólio sobre o fluxo de informações e notícias não pertence mais a mídia jornalística ou aos meios oficiais de divulgação científica. Com o avanço das mídias sociais, os próprios usuários das redes “curtem e compartilham” as mais diversas informações com os mais variados públicos. Esse avanço desenvolvimento deveria possibilitar a democratização da informação; contudo o que se tem constatado é exatamente o oposto: o território virtual tem se transformado em um campo de disputas discursivas entre fatos e inveracidades. Segundo Ferrari (2017) esse movimento ocorre em decorrência do aumento das formas de conexão entre as pessoas além da decorrência da “falta de tempo” que diversas pessoas alegam para verificar informações que recebem via grupos de aplicativos de

mensagens. Desse modo, as pessoas acabam repassando informações apenas pelo título, sem averiguar a fonte de informação ou ler o texto completo da notícia compartilhada.

Todavia, a produção de Britto e Melo (2022), tem apontado possibilidades quanto ao uso de notícias no ensino de ciências a partir do desenvolvimento de uma sequência didática que utiliza fake News como estratégia de ensino de ciências. De acordo com as autoras, a motivação de utilizar fake News advém do fato de que:

A rejeição da Ciência por parte da população somado ao retorno das atividades presenciais, incitam alguns questionamentos: o que fazer para minimizar os impactos do ensino remoto emergencial na era da pós-verdade? Como ensinar Ciências em um mundo anticiência? Como lutar contra a “infodemia” tão presente em nosso dia a dia? Como desenvolver a criticidade dos nossos educandos para lidarem com todo o tipo de notícia, inclusive as falsas? [...] A “imunização” contra Fake News não ocorre de repente. Considerando que as aulas de Ciências geralmente representam os primeiros contatos do indivíduo com o mundo científico, deve-se ampliar a discussão sobre o papel do ensino de Ciências para o desenvolvimento do pensamento crítico no que concerne as Fake News na era da pós-verdade. Portanto, é importante que os professores de Ciências estejam preparados para lidar com pseudociência, Fake News e movimentos anticiência em sala de aula. (p.34)

As autoras ainda expressam sua posição quanto ao uso de notícias em sala de aula ao entenderem que o ensino de Ciências seja o primeiro contato da população com a ciência. Assim é importante levar para a sala de aula Fake News sobre os mais variados assuntos científicos para que os estudantes possam identificar, questionar e verificar, nesse tipo de notícia, a inexistência de evidências científicas.

5.11 A AULA 11 e 12 – PROTEÇÃO RADIOLÓGICA E A ABORDAGEM CTSA NO ENSINO DAS RADIAÇÕES

Neste tópico apresentaremos as análises das aulas onze e doze. A aula onze teve como objetivo tratar da temática relacionada a proteção radiológica bem como os efeitos da radiação ionizante nos seres humanos. Para tanto, realizamos um questionário prévio, constituído por duas perguntas, sendo a primeira: é possível controlar as radiações externas por meio de alguns parâmetros. Na sua concepção, quais seriam esses parâmetros? Justifique. Abaixo expomos algumas das respostas produzidas pelos estudantes:

Por um menor tempo de exposição e mantendo uma determinada distância da fonte. (A.C.J.S)

Por meio da distância da radiação e por barreiras físicas. No caso da distância, é necessário a pessoa se afastar da fonte radioativa. No caso da barreira física, dependendo do material que é feito, irá afetar na intensidade da radiação. (R.K.H)

Pode-se controlar as radiações através da frequência, da intensidade, comprimento de onda e velocidade da propagação, visto que, devido a dualidade onda-partícula, se comportam como ondas eletromagnéticas e como partículas. (E.D.B)

Parâmetros como blindagem para se proteger, distância de fontes, e, dependendo do caso, as próprias características da radiação. (G.M.G)

É possível verificar uma gama de parâmetros citados pelos participantes, tais como barreiras físicas, distância e tempo de exposição. Esses parâmetros são considerados os mais adequados de acordo com NN 3.01 Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica as normas vigentes para proteção radiológica instituídas em 2011 pelo CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear).

É possível traçar uma análise parecida com o trabalho de Eijkelhof (1990), uma vez que os participantes foram indagados quanto ao tipo de atenção que deve ser dada na educação para formas de reduzir os riscos da radiação. De acordo com o pesquisador os estudantes apresentaram diversas recomendações sobre as mais variadas formas de reduzir os riscos causados pela radiação, entre elas:

- Medidas políticas (inspeção, licenças, medições de controle);
- princípios gerais de proteção radiológica;
- tempo, distância, limites de dose;
- prevenção ou limitação da contaminação.

Segundo o autor supracitado, aqueles que responderam às perguntas parecem ter pontos de vista diferentes, ou seja, o que pode ser feito pelo governo, por especialistas em radiação e por cidadãos individuais. Parece que o grupo sentiu que os cidadãos poderiam principalmente reduzir seus riscos de radiação, evitando a contaminação radioativa. Já em nosso levantamento,

os estudantes atribuem características exclusivamente físicas para minimizar o impacto das radiações ionizantes e seus efeitos danosos.

Na segunda questão, solicitamos aos participantes que respondessem a seguinte questão: quais os possíveis efeitos biológicos que o corpo humano está sujeito devido a exposição contínua a radiações ionizantes? A seguir, apresentamos algumas das respostas fornecidas por eles:

Existem dois tipos de efeitos biológicos causados pelas radiações: determinísticos e estocásticos. Os efeitos determinísticos acontecem após a exposição, provocando queimaduras, hemorragias e a morte de tecidos. Já os efeitos estocásticos são relacionados à mutação do código genético das células devido à várias doses seguidas de radiação, provocando câncer e/ou doenças hereditárias. (E.D.B, grifo nosso)

Assim como foi discutido em algumas de nossas aulas, me lembro que os efeitos podem ser temporários e, também, permanentes. Como por exemplo mudanças estruturais de átomos que compõem o corpo, ou quebra de ligações químicas entre eles. (L.I, grifo nosso)

Destacamos em ambos os discursos características da AD relacionados a repetição. Conforme aponta Orlandi (2004) diferencia a repetição discursiva em três categorias: *repetição empírica*, onde o sujeito reproduz o mesmo discurso que lhe foi disponibilizado exatamente com as mesmas palavras para um outro interlocutor; *repetição formal*, a qual trata-se da técnica de produzir frases, reproduzindo o mesmo discurso, todavia com alterações gramaticais (com as suas próprias palavras) e a *repetição histórica* que inscreve o dizer no repetível enquanto memória discursiva, sendo a única entre as três capaz de fazer a língua significar.

Dentro das categorias da repetição, é possível constatar que o discurso produzido por E.D.B encontra-se dentro da repetição formal, já que seu discurso se assemelha muito com um discurso identificado na internet (<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/radiacao-ionizante.htm>), conforme o texto a seguir:

Efeitos biológicos: Os efeitos biológicos da radiação ionizante são bastante diversos. Atualmente, existem, por exemplo, terapias baseadas na exposição à radiação para o tratamento do câncer. Os efeitos biológicos desse tipo de radiação são divididos em duas categorias: determinísticos e estocásticos. Os efeitos determinísticos são imediatos, tais como

queimaduras por radiação ou morte de tecidos. Já os efeitos estocásticos são relacionados à mutação do código genético das células e ao surgimento de câncer ou doenças hereditárias.

O discurso apresenta as mesmas ideias centrais, com algumas alterações sutis. Segundo Orlandi (1998, p.14) existe uma confluência entre as diferentes formas de repetição. É Nesse movimento que a autora credita a aprendizagem, já que ela seria capaz de "[...] criar condições para que o aluno trabalhe sua relação com suas filiações de sentido, com a memória do dizer".

Já o discurso de L.I pode ser compreendido como um tipo de repetição histórica, aja visto que ele resgata conceitos discutidos em aulas passadas para elaborar seu novo discurso, ou seja, ele se apropria de um já-dito, realizando uma apropriação de conceitos discutidos em aulas anteriores. De acordo com a autora;

A inscrição do dizer no repetível histórico (interdiscurso) é que traz para a questão do autor a relação com a interpretação, pois o sentido que não se historiciza é ininteligível, ininterpretável, incompreensível. [...] Isso nos leva a afirmar que a constituição do autor supõe a repetição, logo, como estamos procurando mostrar, a interpretação. (ORLANDI, 2004, p.70)

Dessa maneira, podemos considerar que, segundo a autora, o discurso pressupõe a existência da repetição, de um já-dito. Não porque se trata do mesmo discurso, mas porque é suscetível de ser reproduzido, é passível de repetição. Ao analisarmos os discursos fica evidente que existem discrepâncias entre as formas de repetição de E.D.B e L.I, até porque suas interpretações estão diretamente relacionadas aos seus conceitos pré-construídos, resgatados por meio das suas repetições.

Já na aula doze foi discutido a abordagem CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente) e suas principais características direcionadas à FRI. Após a exposição dos aspectos relacionados à abordagem CTSA, apresentei uma questão para os alunos que estavam presentes na aula: Acidentes com fontes radioativas muitas vezes levam a manchetes. Quanta ênfase é dada ao ensino de ciências às aplicações da radiação ionizante e às questões que surgem nesses debates públicos?

Na década de oitenta e noventa, não existia limite para a manchete da notícia. Quem viveu nessa época lembra que o mundo ia acabar no domingo, na segunda feira, várias vezes e não desmentiam. Davam aquela notícia com aquele sensacionalismo, falavam que o meteoro ia cair [...] depois começou a ter umas regras de coisas que não podiam ser faladas e aí foi

diminuindo[...] minha infância inteira foi ouvindo que a terceira guerra mundial iria acontecer na semana seguinte. (O.V.S)

O pesquisador comenta que diversos trabalhos apontam que a mídia em geral enxerga na catástrofe uma oportunidade de fazer sensacionalismo com a finalidade de vender mais aquela determinada notícia. Contudo, o pesquisador reforça que a escola deveria aproveitar melhor essas reportagens e utilizá-las no processo de alfabetização científica dos estudantes, minimizando os medos que geralmente estão atrelados as radiações.

No que diz respeito ao discurso, Orlandi (2001) destaca que a formação discursiva “se define como aquilo que numa formação ideológica dada – ou seja, a partir de uma posição dada em uma conjuntura sócio-histórica dada – determina o que pode e deve ser dito”. (p.43). Isso vai na contramão do que o participante expõe, já que o seu argumento é de que diversas vezes, os veículos de comunicação relatavam acontecimentos que eram tidos mais como sensacionalismo do que propriamente notícias.

O discurso do estudante vai ao encontro da criação do primeiro Código de Ética dos Jornalistas, no ano de 1987 e que foi atualizada em 2007 com a finalidade de regulamentar normas e posturas que deveriam ser adotadas por profissionais da comunicação social, no que tange à comunidade na qual estão inseridos.

Quanto a questão do discurso televisivo, Orlandi (2008) aponta que;

Enquanto instrumento marcado pela produtividade – múltiplos meios e homogeneização dos fins – a Tevé é um lugar de interpretação extremamente eficaz. Porque anula a memória, a reduz a uma sucessão de fatos com sentidos (dados) quando, na realidade, o que se tem são fatos que reclamam sentidos. (p.180)

A autora ainda assinala que a rede televisiva possibilita que um fato acaba sendo interpretado por outro já disponível na rede. Isso resulta em um espaço onde não existe interpretação. Isso faz com que os discursos sensacionalistas tomem proporções maiores na memória dos telespectadores, uma vez que estão sempre em alta nos noticiários e, conseqüentemente, como expõe Orlandi (2008) os sentidos na rede televisiva não se filiam, apenas se estratificam e isso é algo tão sedutor que proporciona a superficialidade da linguagem indefinidamente, sem nunca precisar se “significar” ou “fazer sentido”.

Ao final da aula, o pesquisador discorre com os estudantes que a abordagem CTSA corresponde a uma integração entre educação científica, tecnológica e social, na qual os conteúdos devem ser estudados juntamente com a discussão de seus aspectos históricos,

políticos e socioeconômicos, a fim de disponibilizar ideias que permitam ao cidadão compreender o que está em jogo no discurso dos especialistas e tomar sua decisão a partir dessas informações. O participante G.P.A pede a palavra e elabora o seguinte discurso:

O livro didático, quando ele fala de radiação, ele coloca uma coisa bem básica nesse sentido. Ele fala da progressão dos modelos atômicos e dos três tipos de radiação (alfa, beta e gama), ficando fragmentado o restante do conhecimento a respeito disso. Eu vejo uma preocupação muito grande com essa questão ambiental, como construir ou não uma usina nuclear: é benéfico ou não é? A questão da construção de uma bomba atômica[...] eu vejo que fica estagnado aí. Alguns livros abordam algumas coisas a mais, como o raio X; mas raramente, pra não falar quase zero, eu vejo falar assim que a radiação pode ser usada para a esterilização de objetos ou que a radiação está presente no controle remoto, pra mudar o canal da TV ou aumentar e diminuir o volume; isso é uma coisa que eu faço questão de falar para os meus alunos. [...] E uma coisa que eu queria que tivesse nos livros didáticos é a respeito do curso de radiologia; porque eles me perguntam coisas do tipo: professor, é verdade que a pessoa que trabalha com radiologia não trabalha igual todo mundo? [...] Eu não sei responder quantas horas ela trabalha, se ela pode fazer “bico” em outro serviço. [...] porque alguns alunos perguntam e querem seguir nessa área.

É possível notar no discurso de G.P.A uma preocupação no que diz respeito à maneira como livro didático não trata das questões atreladas à FRI, sobretudo relacionada à abordagem CTSA. Concordo que é de suma importância tratar das questões que envolvam o fenômeno da radioatividade e da FRI no currículo escolar, instigando os estudantes a construírem consciência e responsabilidade social no espaço em que vivem. Da mesma maneira se faz necessário mostrar aos estudantes que a esses fenômenos são amplamente aplicáveis e requerem uma compreensão básica de ciência e tecnologia por todos os cidadãos, visto que ambos desempenham um papel tão importante na vida pessoal e vida social (EIJKELHOF 1990).

5.12 A AULA 13 – GAMEFICAÇÃO

A décima terceira aula abordou aspectos relacionados gameficação relacionados as radiações ionizantes. Nesta aula, o pesquisador expôs três imagens: uma “amarelinha”, bolas de gude e uma criança fazendo bolhas de sabão. Com as três situações apresentadas, o

pesquisador indagou aos participantes qual a diferença entre jogo e brincadeira? A seguir, são apresentadas algumas respostas dos estudantes:

Se houver disputa, é um jogo (O.V.S, grifo nosso)

Jogo tem a ver com regras (L.A.C, grifo nosso)

Na amarelinha, tem-se o objetivo de chegar no dez (M.B.V, grifo nosso)

Nessa perspectiva, os estudantes chegaram a definições próximas daquelas apresentadas por Miranda (2001);

O jogo pressupõe uma regra, o brinquedo é um objeto manipulável e a brincadeira, nada mais que o ato de brincar com o brinquedo ou mesmo com o jogo... [...]. Percebe-se, pois que o jogo, brinquedo e a brincadeira têm conceitos distintos, todavia estão imbricados ao passo que o lúdico abarca todos eles. (p.30)

Na sequência, o pesquisador comentou quanto a utilização de jogos no ensino, uma vez que Friedmann (2006) destaca que os jogos apresentam uma característica de motivação nas crianças, sobretudo em aspectos relacionados a cooperação e criação de regras. Ademais, a autora sustenta que os jogos auxiliam na coordenação motora, melhoram a socialização entre os estudantes e contribuem para a fixação do conteúdo trabalhado em aula. A seguir, estão colocados cada um dos casos com as respectivas pistas:

SITUAÇÃO 1

Em 2020, um terrorista internacional invadiu um laboratório de pesquisas e roubou uma amostra de um elemento químico extremamente radioativo, com o intuito de promover a morte de milhares de pessoas. É seu dever como pesquisador (e investigador) identificar qual é esse elemento químico e de que forma o terrorista pretende usar esse elemento na fabricação da arma: fabricando uma bomba atômica ou construindo uma arma química? Boa sorte na investigação.

DICAS:

- 1) Esse elemento não é encontrado em seu estado puro na natureza.
- 2) O elemento é um milhão de vezes mais radioativo do que a mesma quantidade de urânio.

- 3) ocorre naturalmente como parte do processo de decaimento radioativo de isótopos de tório e urânio.
- 4) A energia emitida da deterioração de alguns decigramas desse elemento ioniza gases, afeta filmes fotográficos, causa ulcerações na pele e pode levar até a morte.
- 5) A detecção do metal de cor prateada, que ganha um brilho azulado tênue no escuro, foi anunciada na Academia de Ciências francesa em 26 de dezembro de 1898 e rendeu um prêmio Nobel.
- 6) Na tabela periódica, esse elemento não se encontra na série dos Actínídeos nem dos Lantanídeos.
- 7) Seu nome é similar ao invento de Guglielmo Marconi.

RESOLUÇÃO: O elemento químico em questão é o rádio e a forma mais prática de se utilizar o elemento seria como uma arma química aja visto que para desenvolver uma bomba seriam necessários vários quilos desse elemento. Como foi exposto, alguns decigramas desse elemento já são letais, já que o rádio é um milhão de vezes mais radioativo que o urânio.

SITUAÇÃO 2

Ao realizar uma pesquisa sobre os cientistas que participaram ativamente do Projeto Manhattan, você se depara com um grande problema: o livro que você está consultando possui rasuras que o impedem de identificar o nome de dois cientistas. Entretanto, existem algumas dicas que podem facilitar a identificação de ambos.

DICAS:

- 1) Ambos foram laureados com o prêmio Nobel de física.
- 2) Ambos também participaram da conferência de Solvay, porém em anos diferentes.
- 3) O trabalho de ambos está relacionado com a física de partículas.
- 4) O trabalho de maior destaque de um deles está relacionado com o espalhamento de um fóton por uma partícula carregada, que resulta em uma diminuição da energia do fóton espalhado.
- 5) O outro cientista destacou-se com diversas contribuições para a mecânica quântica, sobretudo pelo seu trabalho sobre o desenvolvimento do primeiro reator nuclear, bem como por postular a existência de uma partícula elementar de carga neutra.
- 6) Quanto a nacionalidade, um é estadunidense e o outro é italiano.

Resolução: Os cientistas mencionados são Arthur Compton e Enrico Fermi.

SITUAÇÃO 3

Uma usina nuclear, situada no Brasil, está apresentando falhas no sistema operacional, permitindo que ocorra vazamento de radiação para o exterior e colocando a saúde dos moradores em risco. Entretanto, por estar situado em um país tropical e se tratar da estação do verão, é provável que os habitantes possam adquirir gastroenterite, uma inflamação aguda que compromete os órgãos do sistema gastrointestinal. Seu papel como especialista no assunto é descobrir se esse vazamento pode, de fato, levar as pessoas da cidade a desenvolverem a “síndrome aguda da radiação” ou se os habitantes estão passando por um surto de gastroenterite.

DICAS:

- 1) O diretor de operações da Usina concede uma entrevista para o jornal local, informando que os valores de radiação são seguros e que a população não precisa entrar em pânico, já que o vazamento está sendo controlado pelos operadores.
- 2) A prefeitura resolveu distribuir pastilhas de iodo não radioativo como medida de prevenção.
- 3) Após algumas horas, dezenas de habitantes começaram a relatar mal-estar e dar entrada no hospital da cidade com sintomas como náuseas, diarreia e dores abdominais.
- 4) Também foi comum entre os pacientes enxaqueca, fadiga e falta de apetite.
- 5) A gastroenterite pode ser provocada por vírus, bactérias e parasitas, que podem ser transmitidos pelo ar, pela mão em contato com a boca e por intoxicação alimentar.
- 6) Entre os sintomas mais comuns da gastroenterite estão diarreia, vômitos, dores abdominais e perda de apetite.
- 7) Os níveis de radiação detectados na cidade eram inferiores a 1 micro Sievert ($1\mu\text{Sv}$).

RESOLUÇÃO: A situação descrita corresponde a um **surto de gastroenterite**, uma vez que as quantidades de radiação detectadas são ínfimas, incapazes de provocar a “síndrome aguda da radiação”.

Para nossa análise, selecionamos três questões pós aula que discutiam a abordagem da atividade aplicada. Solicitamos aos alunos que respondessem qual a opinião deles sobre o jogo

trabalhado em sala de aula; assim como o grau de dificuldade fornecido nas dicas. Também solicitamos que os estudantes acreditavam ser possível chegar ao resultado esperado e se tinham gostado da dinâmica da atividade e, caso a resposta fosse negativa, que sugerissem modificações. A seguir, expomos algumas das respostas elaboradas pelos estudantes:

O estilo do jogo me agrada. Já tive contato com outros jogos com esse propósito, não relacionado com qualquer tipo de conteúdo científico, mas sim de resolver mistérios a partir de dicas. Por estar completamente contextualizado no que trabalhamos em nossas aulas, cria um ambiente agradável de discussão onde todos os alunos podem participar, além, é claro, de existir uma abertura para rápidas pesquisas na internet que apenas tem à agregar em nossa discussão. (L.I)

Excelente, ótima apresentação inicial explicando as questões de jogos didáticos e realmente o jogo ele super complementa as aulas e ajuda o aluno a desenvolver criatividade, sociabilidade, inteligências múltiplas, além de poder usá-lo de diversas formas como formativo, sistematização, avaliativo... Eu sei que não é o caso, mas um jogo que pode testar é de um site chamado quizizz é um jogo interativo de perguntas e respostas onde você pode abordar qualquer conteúdo, ensinando o aluno de forma mais divertida. (B.Z.C)

Gostei da atividade como já pontuei acima, eu apenas mudaria o layout da apresentação para que as dicas e a pergunta tentassem estar juntas. Talvez eu tornaria as dicas mais breve e pontuais (aparentemente o intuito da atividade foi nos confundir, então o objetivo foi alcançado). (S.P)

Achei bastante interessante o início com uma questão mais fácil e em seguida ir aumentando o nível de dificuldade. A dinâmica foi bem elaborada e acredito uma forma muito interessante de ensino. Apesar do contexto atual de aulas online, funcionou bem, e acredito que presencialmente o resultado poderia ser inclusive melhor pela dinâmica. (G.M.G)

No que diz respeito aos discursos produzidos foi possível notar que todos os participantes consideraram a atividade satisfatória, tanto no que diz respeito a dinâmica proposta pelo pesquisador, quanto pela ordem dos problemas propostos, partindo de problemas mais fáceis para situações mais complexas. Vale destacar que durante a atividade houve bastante interação dos participantes, o que corrobora a visão de Clement e Terrazzan (2012)

uma vez que em sua produção, os autores identificaram que nesse tipo de atividade há um tratamento adequado de conteúdos conceituais da Física (conceitos, princípios e modelos), conteúdos procedimentais (técnicas e estratégias de resolução adotadas; argumentação oral e escrita) e atitudinais (juízos, normas e valores) que contribuem para que surjam novas ideias e discussões entre os estudantes.

Além disso, no que diz respeito a participação dos estudantes durante a atividade, pudemos verificar a retomada da memória discursiva (ou interdiscurso) dos participantes, já que os conteúdos abordados nas situações 2 e 3 envolveram conteúdos abordados em aulas anteriores, tais como níveis de radiação, limite de dose absorvida, projeto Manhattan interação da radiação com a matéria e aplicação das radiações ionizantes. Na situação dois, alguns estudantes citaram o nome do cientista James Chadwick, sobretudo pelas pistas como integrante do projeto Manhattan e por ter postulado a existência de uma partícula elementar de carga neutra.

Já na situação 3, os estudantes ficaram em divididos quanto ao parecer provavelmente por conta da primeira pista que pode ter levado a uma retomada da memória obtida na série Chernobyl, onde o diretor da usina informou que o acidente não era tão grave e que as medidas de segurança já estavam sendo tomadas. No entanto, um dos estudantes relatou a seguinte justificativa para escolher a resposta certa:

Até a quarta dica enxaqueca e fadiga ainda ficou um pouco (pausa) porque pode estar acarretando no problema do glóbulo vermelho, porque pode estar dando zika ali. Mas eu falei “falta de apetite”, os caras vão ficar com fome? Ai não dá. (S.P)

O pesquisador indicou que a resposta estava correta e justificou afirmando que a quantidade de radiação era mil vezes menor do que média global na qual a população está sujeita a receber de fontes naturais. O pesquisador ressaltou a importância do submúltiplo que acompanha a unidade e acabou causando confusão por parte dos estudantes, bem como a questão psicológica atrelada ao fato de que os sintomas eram parecidos com a síndrome aguda da radiação, mencionados em aulas anteriores. Ademais, outro participante relatou que o fato da pista número dois citar que a prefeitura optou por distribuir pastilhas de iodo causou dúvida e mencionou uma das cenas da série Chernobyl, onde a cientista entrega a uma funcionária do escritório uma pastilha de iodo. Novamente identificamos aspectos relacionados aos já-ditos relacionados ao mesmo evento (série televisiva que trata do acidente da usina de Chernobyl).

5.13 A AULA 14 – PERSPECTIVA DO RISCO

Na última aula foi discutido com os estudantes a noção de risco, a partir das ideias propostas pelo sociólogo alemão Ulrich Beck. Antes da exposição do conteúdo, o pesquisador solicitou que os estudantes respondessem a um questionário prévio com duas perguntas. A primeira pergunta era referente ao entendimento dos estudantes quanto a sua noção de risco e de que maneira ele pode afetar nossas vidas. Abaixo exibimos algumas das respostas dos estudantes:

Risco pode significar algo que tem chances de ser perigoso. O risco de algo deve ser calculado antes deste ser realizado, sabendo-se assim quais são os perigos possíveis. Isso altera o modo como se constrói algumas coisas, e a percepção de risco delas. (L.A.C)

Risco é algo que pode gerar consequências se caso não for tomado algumas providências, algo que está por vir e pode ser evitado. Risco pode afetar nossa vida quando se trata de assuntos, como por exemplo o desmatamento, que ocasiona no aumento da temperatura global, e assim por diante. (L.Z.L.V)

Risco se refere a possibilidade de danos. No caso de radiação isso pode se referir ao risco radioativo (risco de contaminação e exposição). O reconhecimento desse risco afeta as nossas vidas de forma que saberemos nos proteger contra tais riscos. Além disso, conhecimento sobre o assunto também afasta ideias sensacionalistas e errôneas acerca do tema. (V.G.P.S)

Ao iniciar a aula, o pesquisador apontou diferenças entre risco e perigo. Segundo Faugères (1990, p.53) o perigo “caracteriza uma situação de desregulação do sistema que torna perceptível e desencadeia toda uma série de defesa e de tentativas para restabelecer o modo de funcionamento anterior” enquanto o risco condiz a um “sistema complexo de processos cuja modificação de funcionamento é susceptível de acarretar prejuízos diretos ou indiretos (perda de recursos) a uma dada população.” (p.53).

Da mesma maneira, Eijkelhof (1990) procurou caracterizar o termo *risco* fundamentado em diversos autores. Segundo ele, foi possível identificar dois componentes em todas as definições analisadas por ele. A primeira foi a probabilidade, chance ou potencial. O segundo foi o dano, consequência de um evento adverso ou segurança. De acordo com o autor supracitado, é quase um consenso de que o risco está associado a essas duas visões entre ambos

os componentes. A partir disso, é possível notar que há uma convergência entre as concepções apontadas pelos estudantes e as definições apresentadas na produção de Faugères (1990) e de Eijkelhof (1990).

Já na segunda questão, solicitamos que os estudantes respondessem a seguinte questão: Em uma aula anterior analisamos os limites de tolerância recomendada para a exposição à radiação. Você considera que esses níveis são seguros, ou seja, se ficarmos expostos até a 3,3 mSv em um ano isso não acarretará algum tipo de risco à saúde? Justifique. Segue abaixo, algumas respostas selecionadas:

Se esse número está abaixo da estimativa então considero sim segura, puramente por fé nos estudos da área. Não me lembro de quais são os números, mas se a comunidade científica considera uma taxa segura de exposição eu acredito nessa taxa. (A.L.O.J)

Acho segura. Tendo em vista diversas pesquisas realizadas que mostram não há indícios de esta taxa nos prejudica. (M.V.B)

Apesar de se tratar de um limite "seguro" para o corpo humano, sabemos que essa quantidade pode variar de acordo com os organismos (individualmente falando), às situações sociais que se encontram (como por exemplo, em casos de má alimentação ocasionadas por pobreza extrema) ou até mesmo agravar problemas ocasionados por outras doenças. Dessa forma, podem sim ser nocivos à saúde, visto que, apesar de serem quantias "seguras", há a possibilidade de agravar a situação biológica de alguns organismos ou provocar problemas à pessoas por outros motivos individuais. Além disso, sabemos que a radiação fica "impregnada" no corpo por algum tempo, podendo ocasionar outros problemas de saúde. (S.P)

De acordo com Eijkelhof (1990) pode-se facilmente ter a impressão de que existe um nível de segurança abaixo do qual nada acontecerá, mas acima do qual as consequências são realmente graves. Em sua produção, os participantes apresentaram certa confusão provavelmente em razão da utilização de diferentes níveis de referência das doses de radiação, como o nível da radiação natural (2 mSv), o limite de dose média (5 mSv), limite de dose para trabalhadores de radiação (50 mSv), o nível de emergência (500 mSv) e a dose média relacionada a morte por síndrome aguda da radiação (5000 mSv). Em uma cultura em que o medo da radiação é um argumento muito forte, empregar argumentos tranquilizadores, como referência a níveis de emergência, podem ser contraproducentes, pois muitas pessoas não

entenderão por que medidas de segurança estão sendo tomadas enquanto se diz que os níveis de radiação estão muito abaixo dos níveis de perigo.

No que diz respeito a questão do discurso, é possível verificar que os dois primeiros discursos (A.L.O.J e M.V.B) convergem na mesma linha de raciocínio exposta pelos participantes da pesquisa de Eijkelhof (1990). De acordo com Leyton et al. (2014) a importância dos níveis de referência para a exposição a radiações ionizantes foi desenvolvida com vistas a otimização da proteção dos pacientes que estavam expostos a essas radiações. Ainda conforme os autores;

Os níveis de referência são definidos como valores de grandeza medida, acima dos quais alguma ação ou decisão específica deve ser tomada. São usados para identificar situações nas quais as doses ao paciente estão frequentemente fora do usual. Se for constatado que as exposições durante os procedimentos são consistentemente diferentes do nível de referência, os procedimentos e os equipamentos devem ser revistos, de modo a determinar se estes foram adequadamente ajustados. Os níveis de referência estão destinados para uso nos programas de garantia da qualidade, servindo como guias para determinar a revisão detalhada do equipamento e também para garantir o melhor rendimento do operador. (LEYTON ET AL., 2014, p.93)

Os autores ainda apontam que um dos principais objetivos dos valores de referência é evitar o uso desnecessário da radiação ionizante, justificando devidamente cada procedimento (chamado de princípio da justificação). Esse princípio estipula que a exposição à radiação deve produzir um benefício considerável que contraponha o dano que a radiação possa acarretar.

Já o discurso de S.P apresenta características distintas dos discursos anteriores. Primeiro porque relativiza a questão da segurança dos limites de radiação ao citar situações específicas relacionadas as distinções socioeconômicas de sujeitos que compõe a esfera social. Todavia, os aspectos conceituais relacionados a média dos níveis de referência, citados na aula quatro, não levaram em consideração fatores socioeconômicos. Orlandi (2011) salienta que:

Ao se descentralizar o conceito de informação, em favor do de interação e de confronto entre interlocutores no próprio ato de linguagem, torna-se necessário pensar o sentido em sua pluralidade. Dessa maneira não se mantém a noção de um sentido literal em relação a outros sentidos, isto é, os efeitos de sentido que se constituíram no uso da linguagem. [...] Por definição, todos os sentidos são possíveis e, em certas condições de produção, há a dominância de um deles. O sentido literal é um efeito discursivo. (p.143-144)

Dentro desse pensamento, S.P pode ter interpretado que, a partir de condições socioeconômicas mais desfavoráveis, o sujeito torna-se mais vulnerável a doses de radiação e

que esse limiar proposto pelas agências reguladoras não impediria que esse sujeito fosse um forte candidato a desenvolver doenças relacionadas à radiação ionizante.

Uma situação parecida foi verificada na produção de Eijkelhof (1990), onde foi possível constatar que os estudantes frequentemente associavam os efeitos das radiações aos de veneno. Palavras como "mortal" e "letal" eram constantemente empregadas nas respostas como termos de qualificação. Os riscos para bebês eram geralmente vistos como muito mais altos do que para adultos. Nitidamente, esses problemas estão relacionados com a falta de compreensão de algumas concepções básicas sobre radiação em saúde. Uma delas seria a natureza estocástica de efeitos de radiação a longo prazo, como câncer. Não há como prever quem irá desenvolver câncer como resultado de uma certa dose de radiação ou em qual dose um indivíduo certamente terá câncer induzido por radiação. O que se sabe é que as chances crescem com doses maiores.

5.14 A AULA 15 – A AVALIAÇÃO FINAL DA DISCIPLINA

A aula quinze foi utilizada para a realização da avaliação final, uma vez que se tratava de uma disciplina de caráter optativo ofertada de forma regular conforme as normativas institucionais da UNESP. Para a avaliação final da disciplina, o pesquisador solicitou que os estudantes se organizassem e apresentassem planos de aula, no qual deveriam ser compreendidos conteúdos relacionados a física das radiações ionizantes a nível de Ensino Médio e que pudessem ser aplicados em até duas aulas (ou 100 minutos). O intervalo de tempo delimitado foi pensado tomando como base a duração de duas aulas da grande área Ciências da Natureza e suas Tecnologias trabalhadas nas escolas públicas do estado de São Paulo.

Dentro dos planos de aula elaborados pelos participantes, observamos que conteúdos abordados foram os mais diversos possíveis: radiação e usinas nucleares; radiação no cotidiano; aplicação das radiações ionizantes na saúde; interação da radiação com a matéria e os riscos e perigos da radiação. Quanto as metodologias, os participantes empregaram diferentes abordagens, tais como: levantamento de concepções; aulas expositivas; roda de conversa; atividades em grupo (resolução de problemas e leitura de textos); uso de notícias científicas e de Gifs animados.

O objetivo da atividade foi de instigar os alunos a pensarem em estratégias de abordar a temática das radiações na educação básica, aja visto que são estudantes de um curso de licenciatura com exceção dos alunos do bacharelado em química) em física e que provavelmente atuaram em turmas de Ensino Médio. Mais do que avaliar, a atividade buscou

propiciar uma oportunidade de aprendizagem e uma participação ativa entre os estudantes durante o período de pandemia da Covid-19 em que os estudantes se mantiveram isolados e em aulas remotas, impedindo, por exemplo, a sua atuação nas escolas em disciplinas como o Estágio Supervisionado.

Após a exposição dos planos de aula, o pesquisador solicitou que os estudantes respondessem a um questionário final, composto por duas perguntas que serviram como um *feedback* no que diz respeito a estrutura e desenvolvimento da disciplina. Na primeira questão indagamos aos participantes se a disciplina havia cumprido com as expectativas deles, ou seja, se quando resolveram se matricular na disciplina ela correspondia com aquilo que eles imaginavam. Apresentamos a seguir algumas respostas:

Para ser sincero eu não sabia muito bem o que esperar dessa disciplina, tirando o fato de que esperava sim uma disciplina que traria qualidade quanto a minha formação como professor. Dito isso sinto que os aspectos positivos foram as aulas expositivas que o professor nos proporcionou, com conteúdos não só a respeito da radiação ionizante no campo da física, mas também no campo da educação, apresentando didáticas diferentes, CTSA, concepções alternativas entre outras coisas. (A.L.O.J, grifo nosso)

Ao me inscrever na disciplina não tinha ideia de como seria, ou se conseguiria dar conta de cursá-la devido ao seu conteúdo. Entretanto, a maneira como os assuntos foram abordados facilitaram enormemente a compreensão, tanto as dinâmicas, as questões solicitadas, o filme, a série, o debate, o jogo, muito diversificado. De uma forma ou de outra, o entendimento era garantido. (A.E.O.S, grifo nosso)

Sim, a disciplina se enquadrou perfeitamente nos moldes que podem ser usados no atual currículo do ensino médio e até mesmo no desenvolvimento de um ITINERÁRIO FORMATIVO, a maior vantagem em minha concepção foi a forma como eram feitas as abordagens dos assuntos, que foi de modo qualitativo, o que favorece bastante uma disciplina que assusta pelo nome: "RADIAÇÃO", e também levando em consideração que a maioria dos alunos são bem deficientes em conceitos matemáticos simples e quanto mais ainda os conceitos abstratos, portanto, em minha opinião as abordagens foram muito bem desenvolvidas. (G.P.A)

A disciplina foi sim satisfatória. Pois aborda a questão das radiações de várias maneiras, além de apresentar vários métodos didáticos para ensinar tais conceitos. Houve a utilização de jogos de pergunta e resposta, apresentação de episódios de séries a respeito de radiação e outras metodologias distintas. O que, mesmo sendo uma aula ministrada de forma remota, conseguiu trazer aulas criativas e diferentes em muitas ocasiões, fugindo um pouco de aulas mais comuns. Além do compartilhamento de vários textos somatórios de conteúdo. (M.V.B, grifo nosso)

Acredito que tenha cumprido com as expectativas. Tendo vindo de uma disciplina de Física Moderna que considero não ter aproveitado plenamente, a atual disciplina foi um excelente aprofundamento em alguns pontos, além de ser uma base para a maioria deles. Além de existir uma ligação com diversas metodologias não encontradas em outras matérias da graduação, que nos propicia olhares mais gerais para a prática de ensino. (L.I, grifo nosso)

Os discursos de A.L.O.J e A.E.O.S apontam para uma noção de desconhecimento e certo receio quanto ao desenvolvimento da disciplina, provavelmente por ser uma disciplina recém-criada que tratava de um assunto pouco explorado nos cursos de graduação, como já destacamos anteriormente no capítulo três desta tese. Ademais, as IES habituaram-se a tratar seus componentes curriculares seguindo a lógica tradicional, conforme aponta Lacerda e dos Santos (2018);

Todavia, as IES no Brasil, se estruturam sob a égide da pedagogia tradicional desde a sua criação, com a instituição de cursos disciplinares estanques, os quais oferecem conteúdos fragmentados, desarticulados, não significativos para o aluno, para o momento histórico, para os problemas que a realidade apresenta, enfim, para a sociedade. (p.613)

Essa perpetuação das práticas pedagógicas, atrelada a uma disciplina que tinha como foco as radiações ionizantes podem ter levado esses estudantes (e quem sabe outros tantos que optaram por não cursar a disciplina) a reproduzir esse discurso temeroso quanto as expectativas da disciplina.

Em seguida, perguntamos aos alunos o que eles consideraram ter aprendido de mais relevante do ponto de vista conceitual e pedagógico acerca da Física das Radiações. A seguir estão indicadas algumas respostas:

Considero a desmistificação das radiações para mim. Porque eu conhecia mais a parte ruim dela, não sabia do tanto de aplicações que eram possíveis. Sou do bacharelado, portanto achei

muito bacana ver como a aula pode ser desenvolvida, e o tanto de artifícios que podem ser levados em consideração. Foi uma experiência muito bacana. (B.B.F, grifo nosso)

No que se refere aos conceitos acerca da Física das Radiações, os conhecimentos sobre a aplicação da radiação ionizante e os efeitos da radiação após a interação (assim como os métodos para se obter os níveis de segurança à exposição radioativa) foi o que mais me chamou atenção. Como o curso de Física Moderna focou mais na natureza teórica da radiação, pouco foi visto sobre a aplicabilidade e efeitos biológicos e químicos. No que se refere as questões pedagógicas, as relações CTSA sempre me chamaram a atenção e poder ter a capacidade argumentar a favor do ensino de radiações sobre a óptica CTSA e formação focada na alfabetização científica de alunos (que se espera que sejam críticos) me foi mais relevante. (A.L.O.J, grifo nosso)

Na questão conceitual me chamou muito atenção quando foi abordado o tema dos Raios X, principalmente a sua história e a contribuição de diversos cientistas. Outro ponto foi a discussão sobre as dosagens de radiação que estamos expostos em média por ano. São dois temas que gostei muito da abordagem. Na questão pedagógica me chamou muito atenção os debates que podem ser criados em sala e da abordagem de notícias, principalmente quando se entra no assunto de usinas nucleares. Acredito que essas abordagens tornam o ensino mais crítico e desenvolve habilidades de diálogo essenciais nos professores e alunos. (G.V)

Gostei muito quando foi abordado as questões sobre usina nucleares, também trazendo para a discussão sobre o dia a dia e como isso afetaria, bem como toda a discussão sobre bomba atômica e os impactos da sua produção atualmente. As questões pedagógicas nessas aulas que citei anteriormente foram as que mais me chamaram atenção por ter conseguido atingir bastante os alunos, assim como incentivar a discussão entre os mesmos. (L.Z.L.V)

Notamos que cada participante, ao seu modo, evidenciou diferentes conceitos atrelados tanto a física das radiações ionizantes quanto as práticas pedagógicas, os quais julgaram serem mais significativas em suas experiências de aprendizagem. De acordo com Orlandi (2004, 2010), esse movimento ocorre devido a textualidade. Para que haja texto, é necessário que exista textualidade. Já a noção de textualidade passa pela significação, uma vez que as palavras por si só não significam. Dentro dessa noção de textualidade, para que um texto tenha textualidade é necessário que a sua interpretação derive de um discurso que seja capaz de

sustentá-lo e que essa sustentação se dê a partir da relação com os sentidos e significados de cada autor, neste caso, de cada estudante (ORLANDI, 2004).

B.B.F pontuou as questões relacionadas às aplicações das radiações ionizantes, (discutidas na aula dez), uma vez que relata que conhecia apenas o lado mais catastrófico. Ao mesmo tempo, B.B.F destaca que não conhecia os inúmeros empregos das radiações ionizantes, além de não explicitar nenhum aspecto pedagógico da disciplina, uma vez que reforça em seu discurso ser oriunda do bacharelado do curso de Química Ambiental. Todavia, destaca que considerou a disciplina proveitosa quanto a forma que foi desenvolvida.

Já A.L.O.J salienta as aplicações das radiações ionizantes e seus efeitos, assuntos trabalhados nas aulas dez e quatorze. Cabe ressaltar que o participante aponta em seu discurso que o curso de Física Moderna tratou do conteúdo relacionado as radiações ionizantes, entretanto deu ênfase a natureza teórica, sem tratar da sua aplicabilidade. No que tange aos aspectos pedagógicos, A.L.O.J expõe a abordagem CTSA como uma metodologia que agrega na formação e que contribui para a alfabetização científica dos estudantes. Um fato interessante foi que esse participante elaborou seu plano de aula um questionário prévio com o intuito de levantar os conhecimentos dos estudantes quanto aos raios X. Como forma de avaliação, A.L.O.J propôs uma abordagem CTSA, ao sugerir uma discussão com os estudantes da educação básica acerca das consequências da radiação X com a saúde dos seres humanos.

Por sua vez G.V destacou a temática relacionada aos raios X, tratada na aula três, bem como os níveis de radiação. Do ponto de vista pedagógico, o participante exaltou a utilização de debates e o uso de notícias para o ensino das radiações ionizantes. Nesse sentido, Colombo Junior et al. (2012) indica que:

[...] A construção de argumentos feitos coletivamente em atividade de conhecimentos científicos em que o professor conduz a discussão de forma a criar um ambiente argumentativo pode resultar em argumentos mais complexos, que vão além da apresentação somente de Dados e Conclusões. Em sala de aula, particularmente em aulas de ciências, a realização de atividades que não propiciam a argumentação e processos investigativos por parte dos alunos, restringindo apenas a exposição ou manipulação mecânicas, corre um eminente risco de perder a ciência das aulas de ciências. (p.504)

Finalmente, L.Z.L.V salienta quanto aos aspectos conceituais as usinas nucleares e as bombas atômicas, assim como as discussões que foram pautadas sobre esses assuntos. Quanto ao enfoque pedagógico, a participante enfatiza as discussões e os debates que nessas aulas foram desenvolvidos. Aqui, cabe destacar que L.Z.L.V foi uma das participantes que se envolveu no debate realizado na aula oito, na qual foi trabalhado o projeto Manhattan e o

desenvolvimento da bomba atômica. De acordo com Samagaia e Peduzzi (2004) a elaboração de situações em que o conhecimento é a chave para a solução de problemas possibilita que os estudantes trabalhem com a transformação desse conhecimento em argumentos convincentes que serão utilizados em decisões do cotidiano.

A partir das análises realizadas, pudemos tirar algumas conclusões e realizar algumas projeções que estão presentes nas considerações finais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final deste trabalho, buscamos comentar os frutos desta pesquisa, tomando-os como elementos que permitam responder às questões propostas nessa pesquisa. Dessa forma, iniciamos fazendo uma análise geral de todas as aulas trabalhadas durante o curso em consonância com as análises realizadas nos capítulos anteriores.

O primeiro aspecto que destacamos diz respeito a proposta da disciplina. Após realizarmos o levantamento dos cursos de física, constatamos que existe uma lacuna relativa à temática da FRI nos cursos de formação inicial da UNESP. A partir dessa constatação, buscamos elaborar uma disciplina que contemplasse esse conteúdo, já que entendemos que se trata de fenômenos pertinentes que devem constar na formação inicial dos licenciandos em física, visto que no Currículo Paulista a FRI e a radioatividade são parte do conteúdo a ser trabalhado na educação básica. Ademais a aplicação da disciplina se deu em um caráter excepcional em decorrência da pandemia global de Covid-19, o que fez com que tivéssemos que readequar uma disciplina que seria ministrada em formato presencial e teve que ser repensada para ser trabalhada de maneira remota. Por exemplo, na aula cinco, havia a intenção de replicar um dispositivo experimental de baixo custo identificado no artigo científico indicado na bibliografia que permitiria mapear a concentração dos filhos do Radônio-222 no ar. Essa atividade teve que ser abandonada pois havia restrições, tanto dos comércios, quanto da circulação de pessoas, o que inviabilizaria a obtenção dos materiais.

Aqui também vale destacar que alguns assuntos ficaram de fora de nossa disciplina como, por exemplo, a radiação de fundo. Na primeira aula, foi entregue aos participantes um questionário no qual constava uma pergunta sobre qual assunto eles gostariam de estudar. Dentre as alternativas havia a radiação de fundo que foi uma das mais votadas (cinco votos, empatada com aplicação na indústria). Na construção do curso havia o desejo de inserir esse assunto, porém, na medida em que a disciplina foi se desenhando, entendemos que o assunto

ficaria “solto” dentro da proposta e, por essa razão, acabamos excluindo-o e não nos atentamos ao fato de que ele estava presente como uma das opções no questionário da primeira aula.

Isso nos leva ao nosso segundo ponto: a participação dos estudantes e os sentidos produzidos. Em relação a participação dos estudantes podemos destacar que foi satisfatória. Isso porque a turma constava com um total de vinte alunos matriculados na disciplina e uma média de dezessete questionários devolvidos após cada atividade solicitada. No que diz respeito a participação de fato nas aulas, os estudantes iniciaram de maneira mais tímida e, aos poucos, começaram a ter maior participação, seja nas aulas, seja nas atividades de debate ou gameificação.

Já em relação aos sentidos produzidos pudemos verificar um avanço significativo. Tal constatação se deve ao fato de termos acompanhado os discursos elaborados nas primeiras aulas e compararmos com aqueles produzidos ao final do curso. Identificamos ideias mais estruturadas, conceitualmente adequadas e mais autênticas, sem se prender a respostas obtidas de sites de pesquisa da internet. De acordo com Orlandi (2008);

Todo texto é heterogêneo (E. Orlandi, 1987) do ponto de vista de sua constituição discursiva: ele é atravessado por diferentes formações discursivas, ele é afetado por diferentes posições do sujeito, em sua relação desigual e contraditória com os sentidos, com o político, com a ideologia. [...] Embora o interdiscurso não seja representável, seus efeitos estão representados na articulação de diferentes formações discursivas que recortam o texto de maneira desigual. (p.115)

O fato de que os estudantes conseguiram produzir respostas mais satisfatórias (discursos mais robustos e conceitualmente corretos) passa pelo contato com outras fontes de informação que possibilitaram a eles uma compreensão mais pertinente da temática. A leitura prévia dos textos científicos no momento anterior a aula, a série televisiva, a atividade investigativa e o uso de notícias que envolviam as radiações ionizantes concebeu aos estudantes uma gama de possibilidades para que pudessem ir construindo seus próprios argumentos e estruturando melhor suas respostas, bem como auxiliou na elaboração do plano de aula.

No que se refere aos planos de aula, foi interessante notar que diversas metodologias implementadas no decorrer das aulas foram replicadas pelos estudantes, tais como: o uso de questionários para o levantamento de concepções prévias, o emprego de vídeos e atividades de gameificação, o uso de notícias científicas, utilização da abordagem histórica para o ensino das radiações e a diferenciação entre risco e perigo. Isso ajuda a corroborar a importância das disciplinas de caráter pedagógico na elaboração da disciplina, já que elas foram retomadas na

avaliação final, mostrando que os sentidos atribuídos pelos estudantes não se limitaram exclusivamente aos aspectos conceituais, mas também nas questões metodológicas do nosso curso.

Já o terceiro enfoque que gostaríamos de ressaltar em nossas considerações diz respeito a possibilidade de replicação e a viabilidade de adequação de nossa disciplina para cada unidade da UNESP onde há um curso de licenciatura em física. A instituição, que neste ano completou 47 anos de existência, tem entre as 136 opções de cursos oferecidas, 66 cursos de formação em algum tipo de licenciatura distribuídos em 15 cidades. De acordo com o próprio site da instituição, os antigos Institutos Isolados serviram para formar professores com o objetivo de atender a expansão das escolas primárias e secundárias pelo interior do estado de São Paulo. Desse modo, entendemos que seja razoável sugerir aos departamentos de física e/ou a reitoria da instituição a possibilidade de inserção da disciplina de física das radiações ionizantes em seus currículos, ainda que em caráter optativo. É comum nos depararmos com trabalhos que citam os problemas que permeiam a educação, tanto no nível básico, quanto no nível superior sem apresentar soluções práticas. Não temos a audácia de creditar a essa tese a solução dos problemas que perpassa o currículo do ensino superior dos cursos de física. Todavia, expusemos aqui um problema presente em todas as unidades que ofertam cursos de licenciatura em física: a ausência de uma disciplina que discuta conceitos atrelados as radiações ionizantes. Assim, acreditamos que esse trabalho sirva como um propulsor para que outras disciplinas sejam pensadas e/ou adaptadas a partir desse projeto piloto.

Em relação aos desdobramentos da disciplina para os futuros professores, podemos considerar que a expectativa é a mais positiva possível. O feedback dado pelos participantes da disciplina foi muito positivo, sob a ótica das questões conceituais. A disciplina foi muito elogiada por contribuir para a desmistificação das radiações e apresentar aplicações benéficas para a sociedade; bem como por expor a diferença entre termos como contaminação e irradiação, além de apontar a relação da física com a sociedade, permitindo uma compreensão mais adequada de como as radiações estão presentes em nossas atividades rotineiras. Já do ponto de vista pedagógico, as maiores “críticas” vieram da quantidade de textos que foram trabalhados durante o curso e que foram classificadas como excessivas; da falta de exercícios matemáticos; da ausência de uma discussão mais aprofundada quanto a questão do risco e, finalmente de uma quantidade maior de atividades pautadas na gameificação. Entretanto, a sequência dos conteúdos e a metodologia foram elogiadas pelos participantes, bem como em alguns casos, até mesmo reproduzida nos planos de aula, o que reforça nosso entendimento e da nossa defesa em favor do emprego de diversificadas metodologias.

Cabe destacar ainda a relação dos currículos com a FRI. No que diz respeito aos conteúdos relacionados a FRI e as radiações, constatamos, a partir das análises das coleções didáticas, que esses conteúdos ainda não apresentam uma sequência linear bem consolidada como outros conteúdos de física (tais como mecânica, óptica, termodinâmica e eletromagnetismo), do ponto de vista da construção do currículo da educação básica. Dessa maneira, entendo que isso possa ser prejudicial ao aluno, estabelecendo dificuldades ao ensino organizado a partir de uma sequência bem estruturada desses conteúdos, bem como sob a perspectiva relacionada a discussões sócio científicas.

Quanto ao Ensino Superior, Mendes, Nossa e Londero (2019) e Bertoni e Londero (2021,2023) mostram que a FRI, no contexto dos currículos da Unesp, parece não se tratar de fenômenos propensos a serem explorados em uma disciplina exclusiva na formação dos futuros professores de Física. Somente duas disciplinas mapeadas se prestam exclusivamente ao ensino das Radiações Ionizantes, sendo que ambas são oferecidas em caráter optativo (Física Moderna para Professores do Ensino Médio (UNESP – Guaratinguetá) e Física das Radiações Ionizantes (UNESP – São José do Rio Preto))

Assim, argumento a favor de uma ampliação de disciplinas relacionadas à discussão dos fenômenos da FRI e da radioatividade, com o intuito de assegurar ao ensino básico um profissional que esteja preparado para lidar com os desafios que envolvem o ensino das radiações ionizantes e da radioatividade.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. C. C.; VIANNA, D. M. Coleta Certa: Jogo de tabuleiro moderno sobre rejeitos radioativos. **Caminhos da educação matemática em revista (online)**, v. 12, n.1, p.304-318, 2022.

ALSOP, S. **Living with and learning about radioactivity: A comparative conceptual study**. International Journal of Science Education, p.263-281, 2001.

ALSOP, S; WATTS, M. Interviews about scenarios: Exploring the affective dimension of physics education. **Research in Education**, n.63, p. 21–33, 2000.

ANDERSON, D, L. **The Discovery of the Electron**. Princeton: D. Van Nostrand Company, Inc. (1964).

AQUINO, K, A, S; CHIARO, S. O uso de mapas conceituais: percepções sobre a construção de conhecimentos de estudantes do ensino médio a respeito do tema radioatividade. **Ciências & Cognição**, v. 18, n. 2, p. 158-171, 2013.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BARRAGÁN, P.; MORTIMER, E. F.; LEAL, A. **Avaliação preliminar sobre o conceito de radiação e algumas de suas tecnologias: ideias informais de estudantes do ensino médio**. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7,2009. Santa Catarina. Florianópolis: ABRAPEC, 2009.

BASSO, L. D. P.; TERRAZZAN, E. A. Organização e realização do processo de escolha de livros didáticos em escolas de educação básica. **Revista Eletrônica de Educação**, v. 9, n. 3, p. 256-272, 2015.

BATISTA, C. A. S.; SIQUEIRA, M. A inserção da Física Moderna e Contemporânea em ambientes reais de sala de aula: uma sequência de ensino-aprendizagem sobre a radioatividade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 3, p. 880-902, dez. 2017.

BECK, U. **Critical theory of world risk society: a cosmopolitan vision**. Constellations 16 (1), 3–22, 2009.

BERTONI, E. D.; SILVA, L. L. As Radiações Ionizantes na Formação inicial de Professores: Análise dos Projetos Pedagógicos dos Cursos de Física de uma

Universidade Pública Brasileira. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 33, p. 229-234, 2021.

BERTONI, E. D.; SILVA, L. L. As Radiações Ionizantes na Formação inicial de Professores: Análise dos Projetos Pedagógicos dos Cursos de Física de uma Universidade Pública Brasileira. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 33, p. 229-234, 2021.

BERTONI, E. D.; SILVA, L. L. As Radiações Ionizantes nos Currículos de Física Licenciatura: uma análise a partir do Dispositivo Pedagógico de Basil Bernstein (no prelo)

BEZ, T, V; ALEXANDRE, W; COSTA, S. A radioatividade na visão dos alunos de um curso de licenciatura em ciências da natureza. **2º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense – SICT-Sul**. Araranguá (SC), 2013.

BOFF, C. A; BASTOS, R. O; MELQUIADES, F. L. Práticas experimentais no ensino de física nuclear utilizando material de baixo custo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v.34, n.1, 2017.

BOLZANI, V. da S. Mulheres na ciência: por que ainda somos tão poucas? **Ciência e Cultura**: São Paulo, v.69, n.4, p.56-59, 2017.

BOSCO, E; DI GIULIO, G, M. Ulrich Beck: considerações sobre sua contribuição para os estudos em Ambiente e Sociedade e desafios. **Ambiente & Sociedade**, v.18, n.2, 145-156, 2015.

BOSI, A, P. A precarização do trabalho docente nas instituições de ensino superior do Brasil nesses últimos 25 anos. **Educação e Sociedade**: Campinas, vol. 28, n. 101, p. 1503-1523, 2007.

BOZELLI, F. C.; NARDI, R. Interações discursivas e o uso de analogias no ensino de física. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.17, n.1, 2012.

BOZELLI, F. C.; NARDI, R. O uso de analogias no ensino de física em nível universitário: interpretações sobre os discursos do professor e dos alunos. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 6, n. 3, 2006.

BRAKE, M. Science fiction in the Classroom. **Physics Education**, v.38, n.1, 2003.

BRANDÃO, H. H. N. **Introdução à análise do discurso**. Campinas: editora Unicamp, 2004.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: Ministério da Educação, 2016. Disponível em: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/documento/BNCC-APRESENTACAO.pdf>>. Acesso em: 7 jun. 2020.

_____. **Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de Física**. Brasília: Ministério da Educação, 2001, Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES1304.pdf>> Acesso em: 7 jun. 2020.

_____. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**. Lei nº 9.394, Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 dez. 1996.

BRITTO, D. M. C; MELLO, I. C. Fake News como estratégia para o ensino de ciências: avaliação de uma sequência didática. **Revista Vitruvian Cogitationes**, v. 3, n. 2, p. 32-52, 2022.

BRUGLIATO, E. T. **A produção de sentidos sobre a bomba atômica em diferentes tipos de discursos**. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

BRUGLIATO, E. T. **Um estudo com licenciandos em física sobre a energia nuclear em livros didático e textos de divulgação científica**. Tese de Doutorado em Educação – Faculdade de Educação, Unicamp, Campinas, 2020.

CACHAPUZ, A.; PAIXÃO, F.; LOPES, J. B.; GUERRA, C. Do estado da arte da pesquisa em educação em ciências: linhas de pesquisa e o caso “ciência-tecnologia-sociedade”. **Alexandria**, Florianópolis, v. 1, n. 1, p. 27-49, 2008.

CAMARGO, C. M. S. Memória discursiva e a Análise do Discurso na perspectiva pecheuxtiana e sua relação com a memória social. **Saber Humano**, v. 9, n. 14, p. 167-181, 2019.

CARVALHO, A. T.; MENEZES, A. L. T; DA SILVA, L. G; MENDONÇA, M.O.; DE CASTRO, J. N. P. Educação inovadora: jogos como alternativa para o ensino de radioatividade. In: IV Congresso Nacional de Pesquisa em Ciências, 2019, Campina Grande. Anais... Campina Grande (PB): Centro de Convenções Raymundo Asfora, em Campina Grande (PB).

CAVALCANTI, A. et al. **Metodologia do Ensino de Física I – Módulo de ensino inovador: a radiação na Medicina**. São Paulo: Instituto de Física, Universidade de São Paulo, 2016.

CHARAUDEAU., P. Uma problemática semiolinguística do estudo do discurso. In:_____.

Linguagem e discurso: modos de organização. São Paulo: Contexto, 2008.

CHOPPIN, A. História dos livros e das edições didáticas: sobre o estado da arte.

Educação e Pesquisa, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 549-566, set./dez. 2004.

CLEMENT, L.; TERRAZZAN, E.A. Resolução de problemas de lápis e papel numa abordagem investigativa. **Experiências em Ensino de Ciências**. v.7, n. 2, 2012.

COLCLOUGH, N. D., LOCK, R.; SOARES, A. Pre-service teachers' subject knowledge of and attitudes about radioactivity and ionising radiation. **International Journal of Science Education**, 33(3), 423–446, 2011.

COLOMBO JUNIOR, P. D.; LOURENÇO, A. B.; SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Ensino de física nos anos iniciais: análise da argumentação na resolução de uma “atividade de conhecimento físico”. **Investigações em Ensino de Ciências**. v.17, n 2, 2012

CUNHA, M. B; GIORDAN, M. A Imagem da Ciência no Cinema. **Química nova na escola**, v.31, n. 1,2009.

DARK, M. Using Science Fiction Movies in Introductory Physics. **The Physics Teacher**. v. 43, 2005.

DRIVER, R. Students' conceptions and the learning of science. **International Journal of Science Education**, v.11, n.5, 1989.

DUBCEK, L. Finding Facts in Science Fiction Films. **The Science Teacher**, 1993.

DUBCEK, L. Science Fiction Aids Science Teaching. **The Physics Teacher**, 1990.

DUBECK, L. Sci-Fi in the Classroom: Making a “Deep Impact” on Young People's Interest in Science. **Mercury**, 1998.

DUTRA, P. M. B. F. **Percepção de estudantes do ensino médio sobre o tema “radiação” e tecnologias relacionadas:** ideias informais e categorias conceituais. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte, 2010.

EIJKELHOF, H. M. C. **Radiation and risk in physics education**. Utrecht: CD-p Press, 1990.

EIJKELHOF, H.; MILLAR, R. **Reading about Chernobyl: the public understanding of radiation and radioactivity**. School Science Review, 35-41, 1988.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. Editora Campus, 2006.

- EL-HANI, C. N. **Notas sobre o ensino de história e filosofia da ciência na educação científica de nível superior**. In: Silva, C.C. Estudos de História e Filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino (São Paulo, Livraria da Física, 2006).
- FAÊDA, K, C, M; MARTINS, M, I. Efeitos biológicos da radiação: Avaliação de uma proposta para a licenciatura em física. Simpósio Nacional de Ensino de Física, XX, 2013.
- FARIA, A. S. Z. A funcionalidade das perguntas na elaboração do conhecimento nas aulas de ciências. In: PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. Superintendência de Educação. O professor PDE e os desafios da escola pública paranaense, 2007. Disponível em http://www.gestaoescolar.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/producoes_pde/artigo_agnes_silvia_zeckel_faria.pdf.
- FAUGÉRES, L. **La dimension des faits et la théorie du risque. Le Risque et la crise**. European Coordination Centre for Research and Documentation in Social Sciences. Foundation for International Studies, Malta, p.31-60, 1990.
- FERRARI, P. Fake news, pós-verdade e o consumo de informações. In: XXVI ENCONTRO ANUAL DA COMPÓS, 26., 2017, São Paulo. Anais...São Paulo: Faculdade Cásper Líbero; 2017.
- FOUREZ, G. **Alfabetización Científica y Tecnológica: acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias**. Traducción: Elsa Gómez de Sarriá. Buenos Aires: Ediciones Colihue, 1997.
- FRIEDMANN, A. **O brincar na Educação Infantil**. São Paulo: Moderna, 2012.
- GARCIA, N. M. D. Livro didático de Física e de Ciências: contribuições das pesquisas para a transformação do ensino. **Educar em Revista**, n. 44, p. 145-163, 2012.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- GOMBRADÉ, R. **A interpretação da física das radiações ionizantes por meio da leitura de textos**. Dissertação de Mestrado em Ensino e Processos Formativos, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2018.
- GOMES, V., B.; SOUSA, J. R.; BRITO, F. P. AlfaQuim: produção e avaliação de um jogo didático para o ensino de radioatividade. **Revista Eletrônica Ludus Scientiae**, v.5,n.1, p.1-18, 2021.

GREGOLIN, M. R. F. V. Sentido, sujeito e memória: com o que sonha nossa vã autoria?. In: GREGOLIN, M. R. e BARONAS, R.. (Org.). **Análise do Discurso: as materialidades do sentido**. 01ed.São Carlos: Claraluz, 2001, v. 01, p. 60-80.

GUTIÉRREZ, E. E., CAPUANO, V. C., PERROTTA, M. T., DE LA FUENTE, A. M., FOLLARI, B. R. ¿Qué piensan los jóvenes sobre radiactividad, estructura atómica y energía nuclear? **Enseñanza de las Ciencias**, v.18, n.2, p. 247-254, 2000.

HILL, M. M. Desenho de questionário e análise dos dados - alguns contributos. In **Metodologia de Investigação em Ciências Sociais da Educação**. Edições Húmus.2014

KAMIOJI, M. I. **O medo da energia nuclear-Energia nuclear, segurança e medo: o discurso do Jornal Folha de São Paulo na história das usinas nucleares (1979-2013)**. Tese de Doutorado em História Social das Ciências e das Técnicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

KAPLAN, I. **Física nuclear**. Espanha. Aguilar.1964.

KELECOM, A; GOUVEA, R. A percepção da Radioatividade por Estudantes de Nível Superior. **Mundo & Vida, Rio de Janeiro**, v. 3, n.2, 2002.

KIIPER, F, M. **Percepção Pública das Instalações Nucleares**. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Reatores) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

KOONINGS, K.; KRUIJT, D. Introdutction: Violence and Fear in Latin America. In: KOONINGS, Kees; KRUIJT, Dirk (Org.). **Societies of Fear: The Legacy of Civil War, Violence and Terror in Latin America**. New York: St. Martin's Press, 1999.

KOPP, F. A.; ALMEIDA, V. Analogias e metáforas no ensino de Física Moderna apresentadas nos livros didáticos aprovados pelo PNLD 2018. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, 2019.

KUSTER, A. C. **Avaliação de campos eletromagnéticos em regiões densamente povoadas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LASTEC) Instituto de Engenharia do Paraná (IEP), Curitiba, 2011.

LACERDA, F. C. B.; DOS SANTOS, L. M. Integralidade na formação do ensino superior: metodologias ativas de aprendizagem. **Avaliação**, v. 23, n. 3, p. 611-627, 2018.

LEYTON, F. et al. Riscos da Radiação X e a Importância da Proteção Radiológica na Cardiologia Intervencionista: Uma Revisão Sistemática. **Revista Brasileira de Cardiologia Invasiva**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 87-98, Mar. 2014.

LIMA, N. W.; OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. Física Quântica no ensino médio: uma análise bakhtiniana de enunciados em livros didáticos de Física aprovados no PNLDEM 2015. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 435-459, 2017.

LONDERO, L. O modelo atômico de Bohr e as abordagens para seu ensino na escola média. **Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias**, v. 9, n. 1, p. 13-37, 2014.

LONDERO, L.; SORPRESO, T. P.; MOSINAHTI, G. Notícias científicas no Ensino de Física: um estudo na formação de professores. **Revista de Enseñanza de la Física**. Vol. 27, No. Extra, p. 229-237, 2015.

LONDERO, L.; SORPRESO, T. P. A natureza das ciências na formação de professores de física por meio do drama biográfico "Marie Curie, une femme sur le front". **Enseñanza de las ciencias**, n. extra, p. 3741-3746, 2017.

LONDERO, L.; TERRAZZAN, E. A. Familiaridade de alunos de ensino médio com situações análogas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 26, n. 1, 2009.

LORENCINI JUNIOR, A. **O professor e as perguntas na construção do discurso em sala de aula**. Tese de doutorado em Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

LUCENA, E, A; REIS, R, G; SORES, A, P, et al., Radiação ionizante, energia nuclear e proteção radiológica para a escola. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, DOI: 10.15392/bjrs.v5i1.215, 2017.

LUIZ, L, C; OLIVEIRA, L, F; BATISTA, R, T. O uso de ilustrações no ensino e no setor de radiologia como uma proposta para construção dos conceitos de física radiológica e radioproteção. **Revista Brasileira de Física Médica**. v.5, n.3, p.245-52, 2011.

MACHADO, V. F; SASSERON, L. H. As perguntas em aulas investigativas de Ciências: a construção teórica de categorias. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v.12, n.2, 2012.

MACIEL, F. G.; PASSOS, M. M.; ARRUDA, S. M. Pesquisas em Ensino de Ciências com Metodologia Interventiva: O que Fazem os Pesquisadores da Área? **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v.18, n.2, p. 549–579, 2018.

MAIA, B. R., DIAS, P. C. Ansiedade, depressão e estresse em estudantes universitários: o impacto da COVID-19. **Estudos de Psicologia**, v. 37, 2020.

MARCELLO NETTO, M. É possível representar o medo? um estudo de caso sobre o temor nuclear nas animações contemporâneas. In: ENCONTRO ESTADUAL DE HISTÓRIA ANPUH/RS, 12, 2014. Rio Grande do Sul. São Leopoldo: ANPUH, 2014.

MARÍN, J. El analfabetismo tecnológico. Monografias. com. Lucas Morea/Sinexi, SA. <http://www.monografias.com/trabajos12/elanolftc2.shtml> (2003).

MARTIN-DIAZ, M. J. Science Fiction comes into the Classroom: Maelstrom II. **The Physics Education**, v. 27, 1992.

MARTINS, R, A. **Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science**. New York: Routledge, 1994.

_____. Investigando o invisível: as pesquisas sobre raios X logo após a sua descoberta por Röntgen. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, n. 17, p. 81-102, 1997 (a).

_____. Becquerel and the choice of uranium compounds. **Archive for History of Exact Sciences**, v. 51, p. 67-81, 1997 (b).

_____. A descoberta dos raios X: o primeiro comunicado de Röntgen. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 20, p. 373-91, 1998 (a).

_____. Jevons e o papel da analogia na arte da descoberta experimental: o caso da descoberta dos raios X e sua investigação pré-teórica. **Episteme. Filosofia e História das Ciências em Revista**, v. 3, n. 6, p. 222-49, 1998 (b).

_____. As primeiras investigações de Marie Curie sobre elementos radioativos. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 29-41, 2003.

_____. **Becquerel e a descoberta da radioatividade – uma análise crítica**. Campina Grande: EDUEPB/Livraria da Física, 2012.

MENDES, L. G.; NOSSA, I. M.; LONDERO, L. Análise da Inserção das Radiações Ionizantes no Currículo dos Cursos de Formação de Professores de Física do Estado de São Paulo/Brasil. **Revista de enseñanza de la física**, v. 31, p. 517-524, 2019.

MIRANDA, S. **Do fascínio do jogo à alegria do aprender**. Campinas, SP: Papiros, 2001.

MORAES, J. U. P. O Livro Didático de Física e o Ensino de Física: suas relações e origens. **Scientia Plena**, v.7, n. 094401, 2011.

MOURA, F. A; OLIVEIRA, P. V. O Ensino de Física Moderna baseado no filme Interestelar: Abordagem didática para a aprendizagem significativa. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 3, 2019.

NAUMAN, A. K. Sparking Science Interest through Literature: Sci-Fi Science. **Science Activities**, v. 31, n. 3, 1994.

NEUMANN, S.; HOPF, M. Children's Drawings about "Radiation" – Before and After Fukushima. **Research in Science Education**, v.43, p.1535-1549, 2012.

Nobelprize.org (1935). Frédéric Joliot and Irène Joliot-Curie. Nobel Prize in Chemistry. Retrieved from http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1935/joliot-curie-bio.html

NUNES, E. R.; ZYLBERSZTAJN, A. **Goiânia, Chernobyl e a Tecnologia Nuclear: A Informação Científica entre alunos do 2º grau**. In: A Ciência e a Integração Latino-Americana, Porto Alegre. 42ª Reunião Anual da SBPC - Anais. São Paulo: São Paulo Indústria Gráfica e Editora S/A, p. 104-105, 1990.

OKUNO, E. Efeitos biológicos das radiações ionizantes. Acidente radiológico de Goiânia. **Estudos avançados**, 27 (77), 2013.

OKUNO, E. **Radiação: efeitos riscos e benefícios**. São Paulo: Oficina de textos, 2018.

OKUNO, E; YOSHIMURA, E, M. **Física das Radiações**. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

OLIVEIRA JUNIOR, E. M. **O Grande medo de 1987: uma releitura do acidente com o Césio-137 em Goiânia**. Tese de Doutorado em História – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

ORLANDI, E. **Discurso e Leitura**. São Paulo: Cortez; Campinas: UNICAMP. 1988. 118p.

_____. **As formas do silêncio: no movimento dos sentidos**. Campinas: Editora da Unicamp. 1992.

_____. **Gestos de leitura**. Campinas: Editora Unicamp, 1994.

_____. Paráfrase e polissemia: a fluidez nos limites do simbólico. **Rua (Revista do Núcleo de Desenvolvimento da Criatividade)**. n.4. Campinas: Editora da Unicamp, 1998.

_____. **Análise de discurso: princípios e procedimentos**. 3.ed. Campinas: Pontes, 2001.

_____. **Interpretação: Autoria, leitura e efeitos do trabalho simbólico**. 4.ed. Campinas: Pontes, 2004.

_____. **Discurso e Texto Formulação e Circulação dos Sentidos**. Campinas: Pontes, 2008.

_____. **A linguagem e seu funcionamento: as formas do discurso**. 6ed. Campinas: Pontes, 2011, 276p.

ORLANDI, E; LAGAZZI-RODRIGUES, S. (org.). **Discurso e textualidade**. 2.ed. Campinas: Pontes, 2010, 214p.

PÊCHEUX, M. **Les vérités de la Palice**. Paris: Maspéro, 1975. Edição brasileira: Semântica e discurso: uma crítica à afirmação do óbvio. Tradução: ORLANDI, E. P. et. al. 2. ed. Campinas (SP): Editora da UNICAMP, 1995.

PÊCHEUX, M. Análise Automática do Discurso (AAD-69) IN GADET, F. HAK, T. (Org.). **Por Uma Análise Automática do Discurso: Uma Introdução à Obra de Michel Pêcheux**. 3ª Ed. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 1997.

PEDUZZI L. O. Q.; BASSO, A. C. Para o ensino do átomo de Bohr no nível médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 4, p. 545 - 557, 2005.

PIASSI, L. P. C.; PIETROCOLA, M. Possibilidades dos filmes de ficção científica como recurso didático em aulas de física: a construção de um instrumento de análise. **Educação e pesquisa**, v.35, n.3, 2009.

PILAKOUTA, M, SAVIDOU, A, VASILEIADOU, S. **A laboratory activity for teaching natural radioactivity**. European Journal of Physics, n.1, v. 38, 2017.

PINHEIRO, R. M. LONDERO, L. “Marie Curie – a coragem do conhecimento”: uma possibilidade na discussão de aspectos da natureza da ciência. **Revista Valore**, v.6, p.1558-1569, 2021.

PIZZOLATO, N; ADORNO, D, P. **Informal physics teaching for a better society: a mooc-based and context-driven experience on learning radioactivity**. Journal of Physics: Conference Series.1512 012040, 2020.

- PLOTZ, T.; HOPF, M. **Two concepts of radiation. A case study investigating existing preconceptions.** European Journal of Science and Mathematics Education. Vol. 4, n.4, 447-459, 2016.
- POSSENTI, S. “Teoria do discurso: um caso de múltiplas rupturas”, in: F. MUSSALIM e A. BENTES (org.), Introdução à linguística: fundamentos epistemológicos, v.3. São Paulo: Cortez, p. 353- 393, 2004.
- POSSENTI, S. **Os limites do discurso: ensaios sobre discurso e sujeito.** São Paulo: Parábola Editorial, 2009.
- REED, B. C. The Manhattan Project. **Physica Scripta**, v.89, n.10, 2014.
- REGO, F.; PERALTA, L. **Portuguese students' knowledge of radiation physics.** Physics Education, v.41, n.3, p.259-262, 2006.
- RIBEIRO, J. OS “FILHOS DA BOMBA”: memória e história entre os relatos de sobreviventes de Hiroshima e Nagasaki e a “Campanha pela Proibição das Bombas Atômicas” no Brasil (1950). **Revista Outros Tempos**, v. 6, n. 7, 2009.
- RIBEIRO JUNIOR, J. A. **Um estudo simplificado da percepção pública dos benefícios e riscos de centrais termonucleares sugestões para a comunicação de valor com o público.** Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), Dissertação de Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Reatores, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- RICARDO, E. C. Educação CTSA: obstáculos e possibilidades para sua implementação no contexto escolar. **Ciência & Ensino**, v. 1, número especial, 2007.
- RUBLECKI, A. Jornalismo científico: problemas recorrentes e novas perspectivas. **Ponto de Acesso**. Salvador, v. 3, n. 3, p. 407-427, 2009.
- RZYSKI, B. M., SARTORI, C. E. **“Avaliação do conhecimento da população paulistana sobre a energia nuclear e os rejeitos radioativos – O acidente de Goiânia despertou o interesse?”.** In: Conferência Internacional sobre o Acidente Goiânia 10 anos depois. CD-ROM, Conselho Nacional de Energia Nuclear, 1997.
- SALES, M. F.; SILVA, J. S.; HARAGUCHI, S. K.; SOUZA, G. A. P. Jornada radioativa: um jogo de tabuleiro para o ensino de radioatividade. **Revista Eletrônica Ludus Scientiae**, v.4, n.2, 2021.
- SAMAGAIA, R. R. Projeto Manhattan: Duas propostas de trabalho utilizando a aprendizagem centrada em eventos. TCC (especialização) - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Ciências Físicas e Matemáticas. Física., 2001.

SAMAGAIA, R; PEDUZZI, L. O. Q. Uma experiência com o projeto Manhattan no ensino fundamental. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 2, p. 259-276, 2004.

SANTOS; C, E, I; SILVA, L, R, M;BOUFLEUR, L, A; DEBASTIANI, R; STEFENON, C, A; AMARAL, L;YONEAMA, M, L; DIAS, J, F. Elemental characterisation of cabernet sauvignon wines using Particle-Induced X-ray Emission (PIXE),**Food Chemistry**.121, p.44–250, 2010.

SASSERON, L. H; CARVALHO, A. M. O. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciência**, v. 16, n.1, p. 59-77, 2011.

SCHIVANI, M.; SOUZA, G. F.; LIRA, N. Programa Nacional do Livro Didático de Física: subsídios para pesquisas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, 2020.

SCHMIDT, L; HORTA, A; PEREIRA, S. O desastre nuclear de Fukushima e os seus impactos no enquadramento midiático das tecnologias de fissão e fusão nuclear. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 4, p.233-250, 2014

SEGRÊ, E. **Dos raios X aos quarks**. Editora Universidade de Brasília: Brasília, 1987, 345p.

SHOWERS, D. **A Study of the Effects of Informational and Persuasive Messages on the Attitudes of High School Students Toward the Use of Nuclear Energy for Electrical Production**. PhD thesis, Pennsylvania State University, 1986.

SILVA, A. C. **Uma unidade de ensino sobre radiações e exames de diagnóstico médico por imagem na formação inicial de professores de física**. Programa de Pós-Graduação em Educação. Universidade Estadual de Campinas. 2017.

SILVA, A. C. **Uma unidade de ensino sobre radiações e exames de diagnóstico médico por imagem na formação inicial de professores de física**. Tese de Doutorado em Educação – Faculdade de Educação, Unicamp, Campinas, 2017.

SILVA, C. A. S.; MARTINS, M. I. Analogias e metáforas nos livros didáticos de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 2, 2010.

SILVA, E. C. **As Radiações Ionizantes na Formação do Professor de Física: um olhar nas revistas especializadas**. Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências. Universidade Federal da Bahia. 2011.

SILVA, E. C.; PENIDO, M. C. M. Importância da inserção do tópico radiações ionizantes na formação de professores de física. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, VIII, Campinas: 2011.

SILVA, F. C. V.; CAMPOS, A. F.; ALMEIDA, M. A. V. Concepções alternativas de licenciandos em química sobre radioatividade. **Experiências em Ensino de Ciências** v.8, n.1, 2013.

SOUZA, M. A. M. Fenomenologia nuclear: uma proposta conceitual para o ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 1: p. 136-158, 2010.

SOUZA, J. S. S. S., JERONIMO V. M. M., PEDROZO M. G. L., QUADROS B. B., SILVA J. P. S., SILVA L. Z. D., TEIXEIRA C. G., GONÇALVES JUNIOR, M. A. A perspectiva do estudante da Escola SESC de Ensino Médio a respeito da geração de energia núcleo-elétrica. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v.07, 2019.

STRATHERN, P. **Oppenheimer e a bomba atômica em 90 minutos**. Rio de Janeiro: Zahar, 1999.

TEIXEIRA, P. M. M.; MEGID NETO, J. Uma proposta de tipologia para pesquisas de natureza interventiva. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 23, n. 4, p. 1055-1076, 2017.

TEIXEIRA, P. M. M. A diversidade de pesquisas de natureza interventiva dentro da produção acadêmica em ensino de biologia: uma análise teórico-metodológica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.25, n.1, p. 140-158, 2020.

TORRESI, S. I. C.; PARDINI, V. L.; FERREIRA, V. F. Sociedade, divulgação científica e jornalismo científico. **Química Nova**, v. 35, n.3, 2012.

VASCONCELOS, F. C. G. C.; LEÃO, M. B. C. Utilização de recursos audiovisuais em uma estratégia flexquest sobre radioatividade. **Investigações em Ensino de Ciências**,[S. l.], v.17, n. 1, p. 37-58, 2012.

WANG, C.; PAN, R.; WAN, X.; TAN, Y.; XU, L.; HO, C. Immediate psychological responses and associated factors during the initial stage of the 2019 Coronavirus Disease (COVID-19) epidemic among the general population in China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v.17, n.5, 2020.

XAVIER, C. H. G.; PASSOS, C. M. B.; FREIRE, P. T. C.; COELHO, A. A. O uso do cinema para o ensino de física no ensino médio. **Experiências em Ensino de Ciências**, v.5, n.2, p. 93-106, 2010.

YOSHIMURA, E, M. Física das Radiações: interação da radiação com a matéria.

Revista Brasileira de Física Médica, v. 3, n. 1, pp. 57 - 67, 2009.

ZAMBON, L. B.; TERRAZZAN, E. A. Analogias produzidas por alunos do ensino médio em aulas de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, 2013.

ZHOU, F., YU, T., DU, R., FAN, G., LIU, Y., LIU, Z., CAO, B. Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study. **The Lancet**, v.395, p.1054-1062, 2020.

FUNDAMENTAÇÃO CONCEITUAL

ALBUQUERQUE, I. C. T. C.; RAMOS, M. B. Heróis e vilões: as mídias de ficção científica no ensino de radiações. In: XENPEC, 2015, Águas de Lindoia. **Anais do X Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**. Águas de Lindoia: ABRAPEC, 2015.

BATISTA, C. A. S. **Física moderna e contemporânea no ensino médio: subsídios teórico-metodológicos para a sobrevivência do tópico radioatividade em ambientes reais de sala de aula**. Dissertação de mestrado em Educação em Ciências – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus (BA), 2015.

BONJORNO, J. R. et al. **Física**. São Paulo: FTD. v. 3. 2016.

BORSATO, N. G.; FERNANDES, J. P. A construção de uma sequência sobre física nuclear baseada na perspectiva CTS e no uso do RPG. In: Novos Horizontes –XXII SNEF, 2017, São Carlos (SP). **Atas do XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física**. São Carlos: Sociedade Brasileira de Física, 2017.

CALHEIRO, L. B.; DEL PINO, J. C. O estudo das Representações Sociais de estudantes do ensino médio acerca do tema radiação. In: IX ENPEC, 2015, Águas de Lindoia. **Anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**. Águas de Lindoia: ABRAPEC, 2015.

CARDOSO, S. P. **Física das radiações: um enfoque cts para alunos do ensino médio da área industrial**. Dissertação de Mestrado em Ensino de Física – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2017.

COSTA, I. G.; DORES, J. L. R.; LIRA DA SILVA, R. M. Percepção dos estudantes do Ensino Médio da rede pública de Salvador, Bahia sobre energia nuclear. In: VIII ENPEC, 2011, Campinas. **Atas do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**. Campinas: ABRAPEC, 2011.

DIAS, R. S. **Radioatividade: um módulo didático para o Ensino Médio**. Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Física – Centro Universitário Franciscano, Santa Maria, 2013.

FIUZA, G. S. **Radiações ionizantes e radiações não ionizantes no ensino médio**. Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Física – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande (RS), 2016.

FORTUNATO, D. **Matéria e radiação: articulação entre física e saúde na perspectiva de uma prática docente reflexiva**. Dissertação de Mestrado em Educação em Ciências – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (RS), 2012

FREUDENRICH, C. C. Sci-Fi Science: Using Science Fiction to set Context for Learning Science. **The Science Teacher** v. 67 n. 8, 2000.

FUKE, L, F; YAMAMOTO, K. **Física para o ensino médio**. São Paulo: Saraiva. v. 3. 2016.

GASPAR, A. **Compreendendo a física**. São Paulo: Ática. v. 3. 2016.

GONÇALVES FILHO, A; TOSCANO, C. **Física e realidade**. São Paulo: Scipione. v. 3. 2016.

JESUS, G, S; SILVA, E, A; OLIVEIRA, I, B. Energia nuclear: benefícios ou malefícios? percepção de alunos do ensino médio. **Anais do XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química**. Florianópolis (SC), 2016.

LUZ, R. M. **O ensino da física das radiações em ambientes hospitalares: avaliação das concepções sobre raios X com enfoque na prevenção e tecnologia**. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), 2013.

MATOS, A. N.; SANTANA, H. C. V.; BARBOSA, T. N. Análise e desenvolvimento de simuladores na física das radiações. In: XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2017, São Carlos. **Atas do XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física**. São Carlos: USP, 2017.

MONTEIRO, N, A. **Percepção pública da energia nuclear e estratégias para uma melhor comunicação**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Nuclear – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

MORAES, L. E.; OLIVEIRA, F. G.; SOARES, A. A. O ensino da radioatividade e física nuclear com o uso de simuladores. In: XXI SNEF, 2015, Uberlândia. **Anais do XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

MOTTA, L. J.; CARDOSO, G. V.; MACEDO, C. C. Produção de energia elétrica através de usinas termonucleares e hidrelétricas: relato de uma atividade envolvendo aulas contextualizadas de física. In:XX SNEF, 2013, São Paulo. **Atas do Simpósio Nacional de Ensino de Física**. São Paulo: USP, 2013.

OLIVEIRA, M. P. P. et al. **Física em contextos**. São Paulo: Editora do Brasil. v. 3. 2016.

PARISOTO, M. F.; MORO, J. T.; MOREIRA, M. A. O ensino de física a partir do estudo da ultrassonografia, da produção e interação da radiação com o corpo humano: uma abordagem contextualizada. In:XIX SNEF, 2011, Manaus.**Anais do XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Manaus: Sociedade Brasileira de Física, 2011.

PEREIRA, A. **A física das radiações em sala de aula: do projeto à prática**. Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Física – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

PIQUEIRA, R, C. et al. **Física**. São Paulo: Ática. v. 3. 2016.

RESQUETTI, S. O. **Uma sequência didática para o ensino da radioatividade no nível médio, com enfoque na história e filosofia da ciência e no movimento CTS**. Tese de Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.

SÁ ALVES, T. R. et al. Radioatividade na concepção de estudantes de Angra dos Reis: um estudo investigativo. **Ciência em Tela**, [S. l.], v.5, n.2, p.1-13, 2012.

SANT’ANNA, B. et al. **Conexões com a física**. São Paulo: Moderna. v. 3., 2016.

SANTOS, J. P. et al. Concepções de estudantes do Ensino Médio sobre Radioatividade. In: XENPEC, 2015, Águas de Lindoia. **Anais do X Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**. Águas de Lindoia: ABRAPEC,2015.

SCHEFFLER, G. L.; PINO, J. C. D. A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e o Ensino de Radioatividade. **Experiências em Ensino de Ciências**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 29-46, 2013.

SCHMIDT, L; HORTA, A; PEREIRA, S. O desastre nuclear de Fukushima e os seus impactos no enquadramento midiático das tecnologias de fissão e fusão nuclear. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 4, p. 233-250, 2014.

SHIINO, H. S. et al. Uma proposta para sala de aula sobre a física nuclear e a física de partículas. In: XX SNEF, 2013, São Paulo. **Atas do Simpósio Nacional de Ensino de Física**. São Paulo: USP, 2013.

SILVA, C. X.; BARRETO, F. B. **Física aula por aula**. São Paulo: FTD. v. 3. 2016.

SILVA, M. L. Análise da percepção dos alunos do terceiro ano do Ensino Médio do acidente de Goiânia com o cézio 137. In: XXI SNEF, 2015, Uberlândia. **Anais do XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Uberlândia: Sociedade Brasileira de Física, 2015.

SILVA, R. C. **Ensino de radiações ionizantes por meio de produção de vídeos por alunos da 3ª série do ensino médio**. Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande (MS), 2012.

SOARES; A. A.; MORAES, L. E.; OLIVEIRA, F. G. Ensino de matéria e radiação no ensino médio com o auxílio de simuladores interativos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 32, n. 3, p. 915-933, jun. 2015.

SORPRESO, T. P. **Organização de episódios de ensino sobre a questão nuclear para o ensino médio: foco no imaginário dos licenciandos**. Dissertação de Mestrado em Educação – Faculdade de Educação, Unicamp, Campinas, 2008.

SORPRESO, T. P. **Energia nuclear mediante o enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade na formação inicial de professores de Física**. Tese de Doutorado em Educação – Faculdade de Educação, Unicamp, Campinas, 2013.

SORPRESO, T. P.; LONDERO, L.; PEREIRA, G. A. S. Conhecimentos físicos manifestados por alunos após o uso do recurso fílmico do gênero herói e heroína. **Revista de Enseñanza de la Física**. v. 27, n. extra, p. 61-67, 2015.

SOUZA, R. S. **Uma sequência didática para o ensino de física nuclear no ensino médio**. Dissertação de Mestrado Física – Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), 2018.

STEFANOVITS, A. **Física**. São Paulo: Coleção Ser Protagonista. v. 3. 2016.

TORRES, C, M, A. et al. **Física ciência e tecnologia**. São Paulo: Editora Moderna. v. 3. 2016.

ANEXOS

ANEXO I

CRONOGRAMA DE ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO DOUTORADO

1. Realização de disciplinas oferecidas na pós- graduação;
2. Revisão de literatura em periódicos da área de ensino de física, em atas de congressos e teses e dissertações para identificação de estudos já publicados sobre a temática em questão;
3. Levantamento bibliográfico na literatura nacional e internacional da área educacional e de Educação em Ciências para aprofundamento da fundamentação teórica e metodológica de pesquisa;
4. Estudo do apoio teórico (Análise de Discurso);
5. Identificação e seleção de livros e textos de divulgação científica que versam sobre Radiação;
6. Seleção dos textos e livros de divulgação científica potencialmente significativos;
7. Definição de critérios para a seleção das escolas participantes e dos sujeitos selecionados para implementação do projeto;
8. Realização de contatos e agendar encontros e reuniões com as equipes diretivas e os professores das escolas selecionadas para apresentar o projeto;
9. Elaboração da disciplina;
10. Organização dos instrumentos de registro das informações;
11. Qualificação de projeto;
12. Realização de estágio docente (Docência orientada);
13. Coleta de informações por meio do uso dos instrumentos de registro das informações selecionados, junto aos sujeitos e aos espaços da pesquisa (implementação dos episódios e vídeo-gravação das implementações);
14. Realização de entrevistas com professores e alunos colaboradores em reuniões ou nos encontros previamente agendados;
15. Sistematização das informações coletadas;
16. Realização do tratamento das informações coletadas com os instrumentos de pesquisa (análise de resultados);
17. Elaboração de produções textuais com base nos resultados para apresentação de trabalhos em eventos científicos e artigos para periódicos;
18. Elaboração da tese com a sistematização das respostas encontradas e apontamentos das implicações para o ensino da física.

Nº da atividade	2019					2020												2021						
	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.
01	X	X	X	X			X	X	X	X	X													
02	X	X	X	X	X																			
03		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X													
04			X	X	X	X	X																	
05				X	X	X																		
06					X	X	X																	
07					X	X	X																	
08						X	X	X																
09							X	X	X	X														
10								X	X	X	X													
11												X												
12							X	X	X	X	X	X												
13													X	X	X	X	X							
14																X	X	X						
15		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
16																	X	X	X	X	X	X	X	
17			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
18																	X	X	X	X	X	X	X	X

ANEXO II

OFÍCIO APRESENTADO AO CONSELHO DO DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Ofício nº 30/2020 – DEDU.

São José do Rio Preto, 19 de outubro
de 2020

Prezado Senhor,

Encaminhamos a proposta feita pelo Prof. Dr. Leandro Londero da Silva, docente deste Departamento, de inclusão da disciplina "O Ensino da Física das Radiações Ionizantes", 60 horas, no rol de disciplinas optativas dos Cursos de Licenciatura e Bacharelado em Física deste Instituto. O programa da disciplina segue anexo e foi aprovado pelo Conselho do Departamento de Educação em reunião realizada nesta data.

Respeitosamente,

Profa. Dra. Monica Abrantes Galindo de
Oliveira
Chefe do Departamento de Educação

Ao

Prof. Dr. Sidney Jurado de Carvalho

Coordenador do Curso de Física do Instituto de Biociências, Letras e Ciências

Exatas - IBILCESão José do Rio Preto – SP

lggm.

Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas Departamento de Educação

Rua Cristóvão Colombo, 2265, Jardim Nazareth, CEP. 15054-000, São José do Rio Preto/SP

Tel. (17) 3221-2320 / fax (17) 3221-2568

Campus de São José do Rio Preto

ANEXO III

OFÍCIO APRESENTADO AO CONSELHO DO DEPARTAMENTO DE FÍSICA



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José do Rio Preto



Interessado: Conselho de Curso de Graduação em Física
Assunto: Inclusão de disciplina no rol de optativas para as modalidades de bacharelado e licenciatura

PARECER

O parecer trata de solicitação de alteração curricular proposta pelo Conselho de Curso de Graduação em Física, em conjunto com o Departamento de Educação, consistindo no oferecimento da disciplina optativa denominada "O ensino da Física das Radiações Ionizantes" para alunos das modalidades de bacharelado e de licenciatura.

A inclusão da disciplina foi aprovada pelo Departamento de Educação em 19 de outubro de 2020, e pelo Conselho de Curso em 14 de janeiro de 2021. Acrescente-se que a Seção Técnica de Graduação, por meio da Informação nº 04/2021/STG/IBILCE, de 19 de janeiro de 2021, indica que a proposta atende à legislação da UNESP, podendo ter sua análise continuada.

Do ponto de vista de mérito, considero que o conteúdo planejado aborda tema relevante e contemporâneo. Minha única observação é que embora aborde as radiações ionizantes, que podem trazer prejuízos à saúde, seria interessante incluir tópicos sobre as radiações não ionizantes. Isso permitiria, por exemplo, discutir os mitos sobre radiações produzidas por celulares e outros dispositivos eletrônicos.

Considerando a legalidade da solicitação e a relevância da temática da disciplina, recomendo a aprovação do pedido em tela por parte da Comissão Permanente de Ensino.

Aleardo Manacero jr.
Relator pela CPE
03 de fevereiro de 2021

ANEXO IV**DELIBERAÇÃO APROVADA PELA COMISSÃO PERMANENTE DE ENSINO**

Deliberação da Comissão Permanente de Ensino, de 08 de fevereiro de 2021.

Dispõe sobre a inclusão de disciplina optativa no rol de disciplinas do Curso de Graduação em Física.

A Comissão Permanente de Ensino, em reunião realizada nesta data, considerando o parecer do relator da CPE, deliberou favoravelmente à inclusão da disciplina “O Ensino da Física das Radiações Ionizantes”, com carga horária de 60 horas, nos róis de disciplinas optativas de ambas as modalidades do Curso de Graduação em Física (Licenciatura em Física e Bacharelado em Física Biológica), para todas as estruturas curriculares vigentes.

Deliberou, também, favoravelmente à sugestão apresentada pelo relator da CPE, para inclusão de tópicos sobre as reações não ionizantes na disciplina.

Encaminhe-se à Congregação.

Comissão Permanente de Ensino do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas do
Câmpus de São José do Rio Preto, 08 de fevereiro de 2021.

Prof. Dr. Pablo Simpson
Kilzer Amorim Presidente da
Comissão Permanente de Ensino

ANEXO V**DELIBERAÇÃO APROVADA PELA CONGREGAÇÃO DO IBILCE****C O N V O C A Ç ã O**

De ordem do Senhor Presidente, CONVOCO os membros da Congregação para a 555ª Reunião da Congregação, 2ª Ordinária de 2021, a realizar-se no dia **22 de fevereiro de 2021, às 10h, por meio de acesso remoto - ferramenta Google Meet.**

Divisão Técnica Acadêmica do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas do Câmpus de São José do Rio Preto, 18 de fevereiro de 2021.

Liliane Cristina
Campreguer Secretária
da Congregação

PROPOSTA DE ORDEM DO DIA

VII. EXPEDIENTES DA COMISSÃO PERMANENTE DE ENSINO

5. Estrutura Curricular

5.1 Ofício nº 03/2020/CCLL - Conselho de Curso de Licenciatura em Letras - Inclusão da disciplina optativa “Discurso, Interdiscurso e Cenas de Enunciação” (30h), no rol de disciplinas do Curso de Licenciatura em Letras, nas estruturas curriculares vigentes, para alunos dos períodos integral e noturno. Manifestação favorável da Comissão Permanente de Ensino.

5.2 Ofício nº 01/2021/CCGF - Conselho de Curso de Graduação em Física - Inclusão da disciplina optativa “O Ensino da Física das Radiações Ionizantes”, (60h), no rol de disciplinas optativas de ambas as modalidades do Curso de Graduação em Física (Licenciatura em Física e Bacharelado em Física Biológica), para todas as estruturas curriculares vigentes. Manifestação favorável da Comissão Permanente de Ensino, com sugestão.

ANEXO VI

EMENTA DA DISCIPLINA



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de São José do Rio Preto



PROGRAMA DE DISCIPLINA

Unidade Universitária: Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas

Curso: Graduação em Física

Departamento: Educação

Identificação			
Código	Nome da disciplina ou estágio		Seriação Ideal
...	O Ensino da Física das Radiações Ionizantes		a partir do 4º semestre
	Nome da disciplina ou estágio em inglês		
	Ionizing Radiation Physics Teaching		
Obrigatória () Optativa (X) / Estágio ()			
Pré-requisitos(s): Não há / Co-requisitos(s): Não há			
Anual () / Semestral (X)			
Créditos	Carga Horária Total (h)		Distribuição da Carga Horária (h)
04	60		Teórica: 60 Prática: 0

Número Máximo de Alunos Por Turma

Aulas Teóricas: 25 Aulas Práticas: 0

Ementa (tópicos que caracterizam as unidades dos programas de ensino)

Teoria Atômica; Usinas Nucleares e Acidentes nucleares; Concepções alternativas acerca- das das radiações ionizantes; A abordagem histórica para o Ensino das Radiações ionizantes; A abordagem CTSA para o Ensino das Radiações Ionizantes; Textos de divulgação científica no Ensino das Radiações Ionizantes; Filmes e documentários para o Ensino da Física das Radiações Ionizantes; Elaboração de Sequências de Ensino para a Física das Radiações Ionizantes.

Objetivos (ao término da disciplina, o aluno deverá ser capaz de):

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Compreender aspectos teóricos e didáticos acerca do Ensino das Radiações Ionizantes; 2. Contribuir para a formação científica e pedagógica do futuro professor/pesquisador da área de física no que tange ao Ensino das Radiações Ionizantes; 3. Possibilitar o contato dos estudantes com a Física das Radiações Ionizantes a partir de informações vinculadas nas diferentes mídias; 4. Conhecer as propostas/abordagens para o Ensino da Física das Radiações Ionizantes; 5. Capacitar os estudantes para a elaboração de material didático com foco no Ensino das Radiações Ionizantes |
|---|

Conteúdo Programático (título e discriminação das unidades)
--

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Teoria Atômica; - Raios X e unidades das radiações. - Radioisótopos e o conceito de meia-vida; - Interação da Radiação com a matéria; - Usinas Nucleares e Acidentes nucleares; - Proteção radiológica; Questões envolvendo o risco das radiações ionizantes e radioatividade. - Concepções alternativas acerca das radiações ionizantes; - A abordagem histórica para o Ensino das Radiações ionizantes; - A abordagem CTSA para o Ensino das Radiações Ionizantes; - Textos de divulgação científica no Ensino das Radiações Ionizantes; - Filmes e documentários para o Ensino da Física das Radiações Ionizantes; - Elaboração de Sequências de Ensino para a Física das Radiações Ionizantes. |
|---|

Metodologia do Ensino

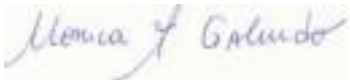
Aulas expositivas com discussão de textos previamente selecionados. Exibição de filmes e documentários. Seminários proferidos pelos estudantes. Elaboração de um episódio de Ensino. Avaliação escrita. Exibição de filmes e documentários.
--

Bibliografia Básica

1. ARRUDA, W. O. Wilhelm Conrad Röntgen: 100 anos da descoberta dos raios X. Arquivos de Neuro-Psiquiatria, v. 54, n. 3, p. 525-531, 1996.
2. CORDEIRO, M, D.; PEDUZZI, L. O. Q. Consequências das descontextualizações em um livro didático: Uma análise do tema radioatividade. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n.3, p. 1-11, 2013.
3. EIJKELHOF, H. M. C. Radiation and Risk in Physics Education. Centre for Science and Mathematics Education, Utrecht, University of Utrecht. 1990.
4. EISBERG, R. & RESNICK, R. – FÍSICA QUÂNTICA, EDITORA CAMPOS, RIO DE JANEIRO, 1988.
5. GILMER, P. J. Irène Joliot-Curie, a Nobel laureate in artificial radioactivity. In: Celebrating the 100th Anniversary of Madame Marie Sklodowska Curie's Nobel Prize in Chemistry. Brill Sense, 2011. p. 41-57.
6. JAUNCEY, G. E. M. The birth and early infancy of X-rays. American Journal of Physics 14: 226-41, 1946.
7. KAPLAN, I. Física Nuclear, Editora Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1978.
8. MARTINS, R. A. Becquerel e a descoberta da radioatividade: uma análise crítica. Campina Grande: EDUEPB/Livraria da Física, 2012.
9. OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. Física das Radiações, Editora Oficina de Textos, 2010.
10. SEGRÈ, E. Dos raios X aos quarks. Trad. De Wamberto H. Ferreira. Brasília: Editora de Brasília, 1987.

Bibliografia Complementar

1. ASSIS, A, K, T; WIEDERKEHR, K, H; WOLFSCHMIDT, G. O Modelo Planetário de Weber para o Átomo. Montreal, Quebec H2W 2B2 Canada, 2014.
2. HEWITT, P. G. Física conceitual. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.
3. LONDERO, L. O modelo atômico de Bohr e as abordagens para seu ensino na escola média. Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias, v. 9, n. 1, p. 13-37, 2014.
4. LOPES, C, V, M. Modelos atômicos no início do século XX: da física clássica à introdução da teoria quântica. Tese de Doutorado em História da Ciência da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2009.

Aprovação		
Departamento 19/10/2020  Prof. Dra. Monica Abrantes Galindo de Oliveira	Conselho do Curso de Graduação _____/_____/_____ _____/_____/_____ _____/_____/_____	Congregação _____/_____/_____ _____/_____/_____ _____/_____/_____

Legenda: PCC – Prática como Componente Curricular

Critérios de Avaliação da Aprendizagem

Participação e frequência em aula.

Avaliação de trabalhos individuais e/ou coletivos reflexivos solicitados em aula e provas dissertativas.

Seminário proferido pelo acadêmico.

Relatórios sobre as atividades.

Elaboração de um episódio de ensino.

Recuperação: será realizada de acordo com as normas vigentes. Estão previstas uma ou mais das seguintes atividades: reunião com os alunos para revisão de temas abordados e avaliação de desempenho na forma de prova(s) teórica(s), seminário(s) e/ou estudos de casos.

Período de recuperação: estabelecido pelo calendário da instituição.

Assinatura(s) do(s) Responsável(is)

Prof. Dr. Leandro Londero da Silva

ANEXO VII

ORIENTAÇÕES GERAIS E CRITÉRIOS MÍNIMOS PARA REPROGRAMAÇÃO DAS DISCIPLINAS DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM FÍSICA NECESSÁRIA FRENTE À QUARENTENA IMPOSTA PELO GOVERNO ESTADUAL PARA COMBATE À COVID-19.

Esse documento foi elaborado pelo Conselho de Curso de Graduação em Física (CCGF) do IBILCE/UNESP em reuniões nos dias 07 e 08 de maio de 2020, com base na Portaria Unesp 128 de 23/04/2020.

A situação tem mudado continuamente, de modo que não é trivial planejar as próximas ações. Esperamos, com as orientações abaixo, estabelecer um mínimo de perspectiva para os docentes e alunos. Estamos cientes de que teremos casos imprevistos. Este é um momento de muitas adaptações e aprendizagem para todos nós. Solicitamos paciência e colaboração de todos. Os Conselhos de Curso aproveitam a oportunidade para agradecer aos docentes pelo empenho, espírito colaborativo e boa vontade neste momento em que somos obrigados a mudar nossa programação e sistemática de ensino para lidar com essa situação de emergência. Os princípios norteadores dessa iniciativa são manter a qualidade do curso apesar da situação de exceção que estamos vivendo.

1) Aos docentes que interromperem as disciplinas e que retomarão quando suas atividades presenciais forem liberadas.

Conforme Artigo 5º da Portaria Unesp 128, de 23/04, o docente que não der continuidade à disciplina deverá apresentar justificativa ao Conselho de Curso e à Congregação. Além disso, deve se prontificar a cumprir essa carga horária quando do retorno das atividades presenciais, além da carga horária já programada para o semestre de retorno.

2) Aos docentes que realizarão aulas e atividades remotas.

Conforme Parágrafo 1º do Artigo 3º da Portaria Unesp 128, a continuidade integral ou parcial das disciplinas com o emprego de estratégias de aprendizagem não presenciais, enquanto perdurar a situação de pandemia do Coronavírus, deverá ser objeto de indicação pelo docente responsável, com observância da necessidade de registro e de documentação das atividades

desenvolvidas, indicação que deverá ser orientada por critérios mínimos definidos pelo Conselho de Curso de Graduação e aprovados pela Congregação.

Conforme Parágrafo 2o. do Artigo 3o da Portaria Unesp 128, a indicação deverá levar em consideração, de modo documentado, a possibilidade de acompanhamento e de aproveitamento pelos discentes dos conteúdos ministrados e deverá ser validada pelo Conselho de Curso.

Todos os docentes do curso deverão definir um Plano de Estudos Remoto, com base nos critérios mínimos definidos abaixo, a ser aplicado nas disciplinas do semestre vigente, o qual deverá conter as atividades a serem desenvolvidas, a carga horária atribuída a cada atividade e os métodos de avaliação. Esse plano será entregue por meio de um formulário Google, a ser criado e encaminhado pelo Conselho de Curso de Graduação em Física, juntamente com outras informações pertinentes. Enfatizamos que os princípios norteadores para a criação do Plano de Estudos Remoto são o cumprimento do conteúdo programático da disciplina, da carga horária, do adequado controle da frequência e da avaliação do aprendizado. As metodologias a serem empregadas para atender a esses princípios norteadores são de livre escolha do docente em consonância com a turma.

Considerando:

- A Resolução Unesp no 73, de 16 de outubro de 2019;
- A Portaria Unesp no 122, de 27 de março de 2020;
- A Deliberação da Congregação, de 31 de março de 2020;
- A edição da Medida Provisória no 934, de 1 de abril de 2020;
- A Portaria Unesp no 126, de 13 de abril de 2020;
- A Deliberação da Comissão Permanente de Ensino, de 13 de abril de 2020;
- Os termos dos Pareceres CEE-SP no 109 e no 110, de 16 de abril de 2020;
- O Decreto Estadual no 64.946, de 17 de abril de 2020;
- A Portaria Unesp no 128, de 23 de abril de 2020.

*O Conselho de Curso de Graduação em Física define os seguintes **critérios mínimos** para o desenvolvimento das atividades não presenciais das disciplinas de graduação em virtude da pandemia do coronavírus. Devido à excepcionalidade da situação e considerando as novas orientações que possam surgir, os critérios a seguir podem ser revistos a qualquer momento.*

- (1) **Reprogramação das Disciplinas:** O Plano de Estudos Remoto apresentado ao Conselho de Curso de Física pelos docentes pode admitir diferentes estratégias didáticas (atividades síncronas ou assíncronas, vídeo-aulas, encaminhamento de listas de exercícios, textos, etc.) com uso de ferramentas e metodologias que sejam comuns a um maior número possível de alunos matriculados com indicação de carga horária para cada atividade. Esses planos deverão, após a validação pelo CCGF, serem apresentados e discutidos com os alunos no primeiro dia da retomada das aulas. Considerando a situação excepcional em que esses planos serão desenvolvidos, é importante a participação ativa dos discentes nesse processo durante o semestre. A carga horária e conteúdos já ministrados em disciplinas que estão em andamento na modalidade remota poderão ser contabilizados desde que atendam a todos os critérios aqui definidos.
- (2) **Registro e disponibilização dos conteúdos e Estratégias Didáticas:** Todo o conteúdo da disciplina (materiais para estudo, atividades, avaliações, etc.) deverá ser disponibilizado e registrado via Google Classroom, Google Drive, e-mail, WhatsApp, Grupo de Facebook, Youtube, ou outro meio qualquer, para que todos os alunos tenham acesso, inclusive os que não estejam cursando a disciplina no momento mas que possam vir a cursar futuramente, neste ou em outros semestres. Os docentes poderão utilizar material disponível na internet (cursos prontos, vídeos, textos, testes, etc), mas não se restringirem a isso. É importante a presença do docente no desenvolvimento da disciplina tanto para sanar dúvidas e corrigir desvios de caminho, como para manter vivo o vínculo do aluno com a Universidade.
- (3) **Atividades Síncronas:** Em caso de atividades síncronas, é imprescindível que o docente esclareça aos alunos os meios/ferramentas que serão utilizadas, além de possibilitar que o conteúdo abordado seja acessado pelo aluno posteriormente em data e horário que lhe seja oportuno. Deve ser dada atenção especial à divulgação da gravação e aos direitos de imagem dos envolvidos, sempre pedindo anuência dos alunos presentes para gravar e caso algum aluno se recuse, que peça para ele desligar sua câmera durante a aula. Recomendamos a utilização da ferramenta Google Meet, que permite a gravação e posterior divulgação do vídeo gravado apenas entre os participantes.
- (4) **Controle de Frequência:** Não devem ser atribuídas faltas aos alunos, uma vez que a frequência não será critério para reprovação, apenas a nota.
- (5) **Avaliações:** Deve ser realizada de forma continuada e, de preferência, utilizando formas alternativas e adaptadas às novas condições. Trabalhos, projetos, listas de exercícios, seminários por videoconferência, exames virtuais, dentre outros, são algumas opções aos docentes, desde que apresentadas de forma clara aos alunos como indicado no item (1).
- (6) **Atendimento aos Alunos:** Definir horários de atendimento aos alunos, oferecendo uma ou mais formas de contato síncrono ou assíncrono (e-mail, WhatsApp, Google Meet, grupo fechado no Facebook, etc).
- (7) **Volume de Atividades:** Deve ser adequado à atual situação de quarentena, isolamento físico e situações limitantes. Deve-se considerar que os alunos estarão desenvolvendo atividades de outras disciplinas e que nem todos os alunos possuem condições físicas, psicológicas, tecnológicas, ambiente adequado de estudo e/ou disponibilidade de materiais didáticos.
- (8) **Estágios:** As atividades das disciplinas de estágio curricular obrigatório da Licenciatura devem ser reprogramadas, seguindo as indicações do Parecer CEE 109 de 16/04, que possibilita o desenvolvimento das atividades do estágio de forma virtual,

acompanhando a retomada (virtual) das atividades escolares do Ensino Básico.

- (9) ***Disciplina que passaram por junções com outros cursos:*** Estas disciplinas devem atender aos critérios definidos acima como qualquer outra. Entretanto, como podem existir divergências entre os critérios dos diferentes cursos, e os Planos de Estudos Remotos dessas disciplinas devem ser aprovados em todos os conselhos de curso, será dada atenção especial a esses casos, estabelecendo diálogo com as chefias e conselhos de curso envolvidos.

- (10) Estes critérios podem ser revistos a qualquer momento, devido à excepcionalidade da situação e considerando as novas orientações que possam surgir.

2) Orientações gerais.

- (a) A reprogramação das disciplinas deve ser uma construção conjunta docente/turma, uma vez que é novidade para todos.

(b) Orientações para o caso de disciplina que seja desenvolvida parcialmente, ou seja, sem a participação da totalidade dos alunos matriculados:

Será garantido aos alunos o direito de cursar as disciplinas de maneira integralmente presencial, quando estas voltarem a ser ofertadas novamente de maneira presencial, conforme recomendações oficiais. Para que isso se cumpra, todos os alunos terão o direito trancar disciplinas, desde que se mantenha matriculado em pelo menos três, ou de suspender a matrícula durante o prazo em que as disciplinas que serão ministradas de maneira remota sem prejuízo de reprovação e sem prejuízo no prazo máximo para o cumprimento do curso.

- (c) Conforme Parágrafo 4º do Artigo 3º da Portaria Unesp 128, as atividades desenvolvidas remotamente *serão creditadas aos estudantes que cumprirem os critérios de avaliação definidos pelo docente responsável.*

- (d) Conforme Parágrafo 6º do Artigo 3º da Portaria Unesp 128, o conteúdo e a frequência das atividades desenvolvidas de forma não presencial deverão ser devidamente registrados no Sisgrad, como feito normalmente, além do registro pessoal do docente. Entretanto, não se deve atribuir faltas aos alunos, conforme indicado no item (4). Sugerimos que os docentes registrem as atividades em blocos temáticos.

- (e) Considerando que na atual situação de quarentena e isolamento físico pode ser difícil para o aluno manter uma rotina fixa de estudos, é importante que os prazos para a entrega das atividades sejam flexíveis e que se mantenha diálogo constante sobre possíveis revisões desses prazos.

- (f) Apesar do contato com os alunos via SGA ser, oficialmente, por e-mail, também é possível contatá-los por WhatsApp. O contato dos alunos pode ser obtido via Sisgrad indo a Serviços → Enviar Mensagem → Selecione a Disciplina → Selecione a caixa Contatos e clique em “Pesquisar”. Os números dos celulares dos alunos serão exibidos. Caso não deseje utilizar seu número pessoal para fazer o contato, é possível utilizar o WhatsApp Business pelo VoIP da Unesp conforme instruções enviadas por e-mail pela STG.

- (g) O Conselho de Curso informará aos alunos o disposto nos seguintes artigos da Portaria

Unesp 128:

***Artigo 6º.** Fica permitido, em caráter excepcional, o trancamento de matrícula em disciplina semestral e/ou anual fora do prazo, desde que o aluno permaneça matriculado em, pelo menos, três disciplinas, conforme dispõe o artigo 5º da Resolução Unesp no 106/2012, de 07/08/2012, alterada pelas Resoluções Unesp nos 23/2013 e 75/2016, dispensando-se, nestes casos, o cumprimento do parágrafo 2º do artigo 6º da mesma Resolução.

***Artigo 7º.** Fica permitida, em caráter excepcional, a suspensão de matrícula do aluno ingressante no primeiro semestre do curso.

ANEXO VIII
QUESTIONÁRIOS DA PRIMEIRA AULA.

PRÉ-AULA

- 1- Indique seu sexo: () Masculino () Feminino () Prefiro não dizer.
- 2- Indique a seguir, qual o seu nível de conhecimento a respeito dos seguintes tópicos relacionados à Física das Radiações Ionizantes:
- radiação de fundo;
 - () conheço bem
 - () conheço razoavelmente
 - () conheço pouco
 - () não conheço
 - emissão de substâncias radioativas após um acidente em uma usina nuclear;
 - () conheço bem
 - () conheço razoavelmente
 - () conheço pouco
 - () não conheço
 - consequências diretas de uma explosão nuclear;
 - () conheço bem
 - () conheço razoavelmente
 - () conheço pouco
 - () não conheço
 - armazenamento de lixo nuclear;
 - () conheço bem
 - () conheço razoavelmente
 - () conheço pouco
 - () não conheço
 - emissão de substâncias radioativas por um sistema nuclear;
 - () conheço bem

- ☐ conheço razoavelmente
- ☐ conheço pouco
- ☐ não conheço
- enriquecimento de Urânio;
 - ☐ conheço bem
 - ☐ conheço razoavelmente
 - ☐ conheço pouco
 - ☐ não conheço
- uso terapêutico da radiação nuclear na saúde;
 - ☐ conheço bem
 - ☐ conheço razoavelmente
 - ☐ conheço pouco
 - ☐ não conheço
- uso diagnóstico de raios X na saúde;
 - ☐ conheço bem
 - ☐ conheço razoavelmente
 - ☐ conheço pouco
 - ☐ não conheço
- uso terapêutico de raios X na saúde;
 - ☐ conheço bem
 - ☐ conheço razoavelmente
 - ☐ conheço pouco
 - ☐ não conheço
- irradiação de comida;
 - ☐ conheço bem
 - ☐ conheço razoavelmente
 - ☐ conheço pouco
 - ☐ não conheço
- datação de achados arqueológicos (método C-14);
 - ☐ conheço bem
 - ☐ conheço razoavelmente
 - ☐ conheço pouco
 - ☐ não conheço

3- Quais dos assuntos abaixo você escolheria para estudar nessa disciplina?

- () Radiação de fundo: do cosmos, alimentos, rochas, materiais de construção etc.
- () Aplicações médicas: usos diagnósticos e terapêuticos de raios X e radiação nuclear.
- () Energia nuclear: emissão de substâncias radioativas, normalmente e após um acidente.
- () Armazenamento de lixo nuclear: subterrâneo, acima do solo, no fundo do oceano.
- () Algumas aplicações da radiação ionizante na área científica e industrial.
- () Consequências imediatas das explosões de armas nucleares.
- () Reação em cadeia após o acionamento de uma bomba atômica.

QUESTIONÁRIO INICIAL

1- Na sua opinião, todo tipo de radiação é prejudicial ao nosso organismo? Justifique.

2- Imagine, por um momento que você está nos seguintes lugares:

- I- Linhas de transmissão elétrica de alta tensão.
- II- Cozinha, onde há um forno micro-ondas funcionando.
- III- Em uma praia paradisíaca, em um dia ensolarado.
- IV- Realizando um exame de ressonância magnética.
- V- Ao lado de uma usina nuclear.
- VI- Fazendo uma viagem de avião.

Em qual(ais) situações você acredita que estaria exposto à radiações? Por quê?

3- Considere a seguinte situação: o prefeito da sua cidade anuncia que será realizado um plebiscito com o intuito dos cidadãos votarem a favor ou contra a instalação de uma usina nuclear na cidade. Qual seria o seu posicionamento? Explique.

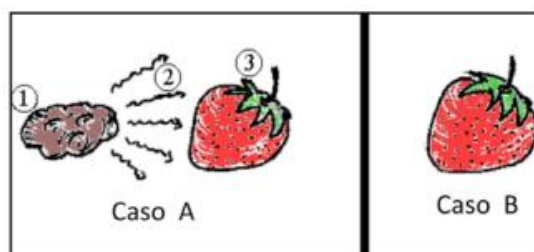
4- Na sua opinião, o que é um material radioativo e um não-radioativo? Dê exemplos.

5- Imagine que lhe seja dado três biscoitos radioativos: um deles emite radiação alfa, o outro beta e o outro gama. Você tem três opções, um deles você deve comer, o outro colocar no bolso e o outro segurar na mão. Qual escolha você deve fazer para se proteger

ao máximo? Ou seja, qual deles você segurará, qual você comerá e qual você guardará no bolso? Por quê?

Situação para as questões 6 e 7.

Um morango está sendo irradiado por uma fonte radioativa (caso A). Após um tempo, separa-se o morango da fonte, deixando o morango isolado (caso B), conforme o desenho:



Onde:

- 1 representa a fonte radioativa,
- 2 representa a radiação,
- 3 o morango.

- 6- Na sua opinião, o morango, no caso B, emitirá radiação? Justifique sua resposta.
- 7- Na sua opinião, o morango, no caso B, conterá substâncias radioativas? Justifique sua resposta.
- 8- A seguinte notícia foi veiculada pela revista exame, em 17 de abril de 2014, em relação ao acidente nuclear na usina de Fukushima.

TECNOLOGIA

Tepco detecta vazamento de uma tonelada de água radioativa

Usina nuclear de Fukushima detectou um vazamento dentro das instalações de descontaminação do líquido.

Por EPE
Q17 abr 2014, 09:56



A “água radioativa” a qual se refere a reportagem faz alusão a água:

- () que contem substâncias radioativas.
- () que contém radiação.
- () cujas moléculas, como consequência da radiação recebida, emitem radiação.

Texto para as questões 9 e 10

O iodo-131 e o cézio-137 são isótopos radioativos que foram emitidos no acidente nuclear de Fukushima, ocorrido em março de 2014. O iodo-131 tem meia-vida de 8 dias, enquanto a meia-vida do cézio é de 30 anos. Meia-vida é o tempo que leva uma certa quantidade de um isótopo radioativo a ser reduzido pela metade. Em relação ao texto responda:

9- Estes isótopos são ditos radioativos porque:

- () Os átomos de iodo-131 e cézio-137 são instáveis.
- () Os núcleos dos átomos de iodo-131 e cézio-137 são instáveis.
- () Os elétrons dos átomos de iodo-131 e cézio-137 estão em uma situação instável.

10- O que você acredita que acontece com os isótopos anteriores?

- () se transformam em outro elemento químico, emitindo radiação.

- () emitem radiação e, por consequência, desaparecem.
- () emitem radiações, restando o mesmo elemento químico, porém com menor energia.

ANEXO XIX

PARECER FAVORÁVEL DO COMITÊ DE ÉTICA – PLATAFORMA BRASIL

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: A física das radiações ionizantes na formação inicial de professores de física: potencialidades e delimitações de uma proposta de ensino

Pesquisador: RAFAEL GOMBRADE

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 47713021.9.0000.5398

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.101.906

Apresentação do Projeto:

Conforme o Documento Informações Básicas do Projeto, trata-se de um projeto de pesquisa que visa "apresentar uma unidade de ensino para ser aplicada com estudantes do curso de licenciatura em física da Unesp (campus São José do Rio Preto) a fim de propormos uma disciplina em caráter optativo que versa sobre os tópicos da Física das Radiações ionizantes". É uma pesquisa "de abordagem quantitativo/qualitativa, na qual serão identificadas as instituições superiores reconhecidas pelo MEC, que ofereçam cursos de licenciatura em física".

Objetivo da Pesquisa:

Conforme o Documento Informações Básicas do Projeto, o objetivo primário da pesquisa é "apresentar uma unidade de ensino para ser aplicada com estudantes do curso de licenciatura em física da Unesp (campus São José do Rio Preto) a fim de propormos uma disciplina em caráter optativo que versa sobre os tópicos da Física das Radiações ionizantes". Já os objetivos secundários são: "1) Como estão inseridos esses conteúdos de Física das Radiações Ionizantes

dentro dos currículos da UNESP? 2) Quais tópicos são discutidos acerca da Física das Radiações Ionizantes nos currículos da UNESP?"

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Conforme o Documento Informações Básicas do Projeto, "os riscos da presente pesquisa estão relacionados a um eventual constrangimento ou desconforto ao realizar as atividades propostas.". Quanto aos benefícios, destaca-se a contribuição "para o desenvolvimento dos conceitos acerca da Física das Radiações Ionizantes para os futuros docentes da disciplina de física".

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Trata-se de uma pesquisa de doutorado (prazo 48 meses), com financiamento próprio, cujo objetivo é "apresentar uma unidade de ensino para ser aplicada com estudantes do curso de licenciatura em física da Unesp (campus São José do Rio Preto) a fim de propormos uma disciplina em caráter optativo que versa sobre os tópicos da Física das Radiações ionizantes". A abordagem da pesquisa é quantitativo-qualitativa, envolvendo revisão de literatura, levantamento de informações e contatos com instituições que oferecem curso de Física, montagem e aplicação de uma unidade de ensino em uma disciplina optativa em um curso de Física específico. Serão utilizados como "instrumentos de coleta de informações, entrevistas, questionários, produções textuais e vídeo-gravação". A análise dos dados dar-se-á a partir dos "aportes teóricos da Análise de Discurso Francesa, a partir de produções de Michel Pêcheux".

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

TCLE apresentado e adequado.

Recomendações:

Embora tenha sido apresentado o cronograma de doutorado em arquivo separado, recomenda-se que o cronograma que consta no corpo do projeto de doutorado também seja adequado.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Aprovado.

Considerações Finais a critério do CEP:

Projeto considerado "aprovado" por estar em conformidade com os parâmetros legais, metodológicos e éticos analisados pelo colegiado deste CEP - Comitê de Ética em Pesquisa.

Lembramos que é dever do pesquisador responsável, ao término da pesquisa e conforme o cronograma informado à Plataforma Brasil, apresentar o relatório final da mesma.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1685286.pdf	12/10/2021 16:23:07		Aceito
Cronograma	cronograma_doutorado.docx	12/10/2021 16:22:34	RAFAEL GOMBRADE	Aceito
Outros	CartaCEP.docx	12/10/2021 16:22:06	RAFAEL GOMBRADE	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_Pesquisa.docx	12/10/2021 16:21:34	RAFAEL GOMBRADE	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Rafael_Comite_etica.docx	22/08/2021 17:51:34	RAFAEL GOMBRADE	Aceito
Outros	carta_anuencia.pdf	22/08/2021 17:46:36	RAFAEL GOMBRADE	Aceito
Folha de Rosto	FolhadeRostoRafael.pdf	31/05/2021 12:06:29	RAFAEL GOMBRADE	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

BAURU, 12 de Novembro de 2021

ANEXO X

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)**Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)**

(Conselho Nacional de Saúde, Resolução nº 510/2016)

Você está sendo convidado a participar voluntariamente da pesquisa “A Física das Radiações Ionizantes na Formação Inicial de Professores de Física: potencialidades e delimitações de uma proposta de ensino”, sob responsabilidade dos pesquisadores Leandro Londero da Silva e Rafael Gombrade. O estudo tem como objetivo analisar as potencialidades e delimitações de uma disciplina, ministrada em caráter optativo, ofertada para um curso de formação de professores de física intitulada “Radiações Ionizantes:

aspectos teóricos e didáticos”. Você participará de um conjunto de quinze aulas e realizará atividades (questionários, produções escritas, etc.) propostas pelos pesquisadores responsáveis pela pesquisa. Os riscos da presente pesquisa estão relacionados a um eventual constrangimento ou desconforto ao realizar as atividades propostas, mas você poderá cancelar sua participação no estudo, mesmo durante ou após realizar as atividades. Você poderá entrar em contato com os pesquisadores por e-mail, via Skype, pessoalmente ou pelo telefone da instituição, para esclarecimento de qualquer dúvida. Todas as informações por você fornecidas nas atividades solicitadas e os resultados obtidos serão mantidos em sigilo, e estes últimos só serão utilizados para divulgação em reuniões e revistas científicas. Você será informado de todos os resultados obtidos, independentemente do fato de estes poderem mudar seu consentimento em participar da pesquisa. Você não terá quaisquer benefícios ou direitos financeiros sobre os eventuais resultados decorrentes da pesquisa. Este estudo é importante porque os resultados poderão fornecer subsídios para a inserção de discussões sobre as Radiações Ionizantes no currículo da Física Licenciatura, uma vez que esse tópico curricular não é, atualmente, obrigatório na estrutura curricular do curso. Diante das explicações, se você concorda em participar desta pesquisa, forneça os dados solicitados e coloque sua assinatura a seguir.

Nome: _____ R.G. _____

Endereço: _____ Fone: _____

São José do Rio Preto, ____ de _____ de 2021

Assinatura do Participante_____
Assinatura do Pesquisador responsável

Nome dos Pesquisadores: Leandro Londero da Silva, Rafael Gombrade	Cargo/Função: Professor, Estagiário docente
Instituição: IBILCE – UNESP Endereço: Rua Cristóvão Colombo, 2265. Bairro: Jardim Nazareth. São José do Rio Preto/SP – Departamento de Educação – Sl.11 – Fone: (17)3221-2751	

Pesquisa submetida ao Comitê de Ética em Pesquisa do IBILCE/UNESP.