



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO - PRPG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS - PPGE
NÍVEL DOUTORADO**

RUBENS ANTÔNIO DA SILVA

**LUZ SÍNCROTRON: UMA ABORDAGEM PARA O ENSINO MÉDIO
NA PERSPECTIVA DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA**

**Recife - PE
2023**

RUBENS ANTÔNIO DA SILVA

**LUZ SÍNCROTRON: UMA ABORDAGEM PARA O ENSINO MÉDIO
NA PERSPECTIVA DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA**

Tese da pesquisa de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências (PPGEC) da Pró-Reitoria de Pós-Graduação (PRPG) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) como requisito para a obtenção do título de Doutor em Ensino de Ciências e Matemática.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Helaine Sivini Ferreira.

Coorientador: Prof. Dr. José Roberto Tavares de Lima.

**Recife - PE
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586l

Silva, Rubens Antônio da

Luz Síncrotron: uma abordagem para o ensino médio na perspectiva de divulgação científica / Rubens Antônio da Silva. - 2023.

234 f. : il.

Orientadora: Helaine Sivini Ferreira.

Coorientador: Jose Roberto Tavares de Lima.

Inclui referências, apêndice(s) e anexo(s).

Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências, Recife, 2024.

1. Ensino por investigação. 2. Divulgação científica. 3. Luz síncrotron. 4. Acelerador de partículas Sirius. I. Ferreira, Helaine Sivini, orient. II. Lima, Jose Roberto Tavares de, coorient. III. Título

CDD 507

RUBENS ANTÔNIO DA SILVA

**LUZ SÍNCROTRON: UMA ABORDAGEM PARA O ENSINO MÉDIO
NA PERSPECTIVA DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências (PPGEC) da Pró-Reitoria de Pós-Graduação (PRPG) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), submetida à aprovação da banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof^ª. Dr^ª. Helaine Sivini Ferreira
Presidente / Orientadora
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Prof. Dr. José Roberto Tavares de Lima
Coorientador
Instituto Federal de Pernambuco (IFPE)

Prof. Dr. Rodrigo Lins Rodrigues
1º examinador (interno)
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Prof. Dr. João Eduardo Fernandes Ramos
2º examinador (interno)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Prof^ª. Dr^ª Kalina Cúrie Tenório Fernandes do Rêgo Barros
3º examinador (externo)
Instituto Federal de Pernambuco (IFPE)

Prof. Dr. Vitor Acioly Barbosa
4º examinador (externo)
Universidade Federal Fluminense (UFF)

Data da apresentação: 19 de Dezembro de 2023.

DEDICATÓRIA

Dedico o fruto de minha investigação aos meus pais, José Antônio e Marly Luiza, que me proporcionaram plenas condições durante minha formação e estiveram sempre ao meu lado em todos os momentos.

Dedico também ao meu filho, Breno Otávio, e à minha esposa, Thamires Priscilla, pela compreensão diante do tempo que deixei de dedicá-los, devido às tarefas e ocupações vividas nas atividades de pesquisa e na produção científica.

AGRADECIMENTOS

Concebendo a ideia de que a produção deste relato da minha investigação do programa de doutorado foi resultado de uma trajetória profissional na área de educação e de uma construção acadêmica, que não apenas foi desenvolvida nestes últimos anos. Agradeço antecipadamente a todos que de alguma forma passaram pela minha vida e contribuíram para a construção do que represento hoje. Agradeço, particularmente, a algumas pessoas pela contribuição direta na construção desta obra:

Primeiramente, a Deus, por todo o suporte concedido ao longo dos dias dedicados a esta causa, pela proteção e pelos livramentos nas estradas que semanalmente ligavam ao meu compromisso, muitas vezes sob forte chuva em cima de uma moto.

À Profa. Dra. Helaine Sivini Ferreira, pelos ensinamentos, incentivo, confiança e paciência.

Aos professores Dr. José Roberto, Dr. Rodrigo Lins, Dra. Kalina Cúrie, Dr. João Eduardo e o Dr. Vitor Acioly, pela disponibilidade com que leram e interagiram com o trabalho e pelas valiosas colaborações para a construção dessa pesquisa.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências da Universidade Federal Rural de Pernambuco, pela enorme contribuição para a minha formação e por todo aprendizado propiciado.

Aos colegas do doutorado, pelos ricos momentos de interação e aprendizagem, pela amizade construída e pelos diversos obstáculos superados.

Aos professores da ESPEM e aos alunos da graduação na qual a pesquisa foi desenvolvida, pelo apoio e colaboração, tornando possível a realização desse trabalho.

A minha família; pai, mãe, irmãs, filho e esposa, por compreenderem minha ausência e acreditarem nos meus sonhos.

A todos meus Agradecimentos.

RESUMO

Em nossa investigação, o objetivo geral foi analisar as contribuições da Divulgação Científica (DC), por meio das Sequências de Ensino Investigativo (SEI), na abordagem da radiação eletromagnética da luz síncrotron e na divulgação do acelerador de partículas brasileiro, Sirius. A trajetória metodológica consistiu em duas etapas: a primeira envolveu a construção de uma Sequência Didática (SD) para o ensino da temática, utilizando a SEI como arcabouço teórico, validada por professores de Ciências que participaram da Escola Sirius para Professores do Ensino Médio (ESPEM). A análise dos resultados permitiu a constatação da viabilidade da SEI para abordar a luz síncrotron e o acelerador de partículas Sirius. Após a construção e validação, a sequência foi desenvolvida com estudantes do Ensino Superior, em uma turma do componente curricular Didática, na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Seguindo as quatro etapas da SEI, destacamos a proposição do problema experimental ou teórico com o uso de uma maquete construída do acelerador, a sistematização do conhecimento por meio de discussões entre os alunos, a contextualização e aprofundamento com textos e mídias digitais, e a avaliação ao longo do desenvolvimento da SD. A análise das informações coletadas, com base no Padrão de Argumento de Toulmin (TAP) juntamente com os indicadores de Alfabetização Científica (AC), revelou lacunas de aprendizagem. No entanto, evidenciou também indícios de apropriação de conhecimentos científicos pelos estudantes, apontando para o potencial da SD. Os resultados indicaram avanços no entendimento da temática e uma crescente conscientização dos alunos sobre a importância do investimento na Ciência e em suas tecnologias. A presença dos elementos da SEI em nossa investigação possibilitou o acompanhamento e planejamento de ajustes no trabalho docente, superando obstáculos e identificando lacunas conceituais. O uso da DC facilitou a discussão sobre o Sirius, a maior infraestrutura de pesquisa do país, por meio de diálogos, textos e mídias digitais.

Palavras-Chave: Ensino por Investigação, Divulgação Científica, Luz Síncrotron, Acelerador de Partículas Sirius.

ABSTRACT

In our research, the overall objective was to analyze the contributions of Scientific Divulcation (SD) through Investigative Teaching Sequences (ITS), focusing on the electromagnetic radiation of synchrotron light and the promotion of the Brazilian particle accelerator, Sirius. The methodological trajectory consisted of two stages: the first involved constructing a Didactic Sequence (DS) for teaching the theme, using ITS as a theoretical framework, validated by science teachers who participated in the Sirius School for High School Teachers (ESPEM). The analysis of the results confirmed the feasibility of ITS and SO in addressing synchrotron light and the Sirius particle accelerator. After construction and validation, the sequence was implemented with higher education students in a didactics class at the Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE). Following the four stages of ITS, we emphasized proposing the experimental or theoretical problem using a constructed model of the accelerator, systematizing knowledge through student discussions, contextualization and deepening with texts and digital media, and ongoing assessment throughout the development of the DS. The analysis of the collected information, based on the Toulmin Argument Pattern (TAP) along with Scientific Literacy (SL) indicators, revealed learning gaps. However, it also showed signs of students appropriating scientific knowledge, indicating the potential of the DS. The results indicated progress in understanding the theme and a growing awareness among students of the importance of investing in science and its technologies. The presence of ITS elements in our research allowed for monitoring and planning adjustments in teaching, overcoming obstacles, and identifying conceptual gaps. The use of SO facilitated discussions about Sirius, the country's largest research infrastructure, through dialogues, texts, and digital media.

Key words: Teaching by Investigation, Scientific Divulcation, Synchrotron Light, Sirius Particle Accelerator.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - TUBO DE RAIOS CATÓDICOS.	10
FIGURA 2 - CÂMARA DE VÁCUO DE UM SÍNCROTRON DA GENERAL ELECTRIC DE 1947.	11
FIGURA 3 - GERAÇÕES DA LUZ SÍNCROTRON.....	12
FIGURA 4 - ACELERADOR DE PARTÍCULA EM CAMPINAS/SP.....	18
FIGURA 5 - ESTRUTURA INTERNA DO SIRIUS EM CAMPINAS/SP.	20
FIGURA 6 - ACELERADOR LINEAR DO SIRIUS.	21
FIGURA 7 - ACELERADOR INJETOR DO SIRIUS.....	22
FIGURA 8 - ESQUEMA GENÉRICO DE UMA FONTE DE LUZ SÍNCROTRON.	22
FIGURA 9 - DIPOLOS, QUADRUPOLOS E SEXTUPOLOS.....	23
FIGURA 10 - GRANDE COLISOR DE HÁDRONS (LHC).....	27
FIGURA 11 - GLOBO DE CIÊNCIA E INOVAÇÃO DO LHC.....	28
FIGURA 12 - VISÃO AÉREA DO PRÉDIO DA FONTE DE LUZ CANADENSE.....	29
FIGURA 13 - VISTA AÉREA DO FERMILAB.	30
FIGURA 14 - INSTALAÇÃO DA ESRF EM GRENOBLE – FRANÇA.	32
FIGURA 15 – COMUNICAÇÃO, DIVULGAÇÃO E DIFUSÃO.....	35
FIGURA 16 – FLUXOGRAMA ILUSTRATIVO DOS PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	47
FIGURA 17 – SISTEMATIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVO (SEI).	48
FIGURA 18 – MAQUETE DIDÁTICA DO ACELERADOR DE PARTÍCULAS SIRIUS.	50
FIGURA 19 - MODELO PADRÃO DE ARGUMENTAÇÃO DE TOULMIN.....	56
FIGURA 20 – ESTUDANTES DO E. S. PARTICIPANDO DO 1º DIA DA INTERVENÇÃO DIDÁTICA.	80
FIGURA 21 – QUANTITATIVO DE ESTUDANTES EM FUNÇÃO DE CADA CURSO.	81
FIGURA 22 - MODELO PADRÃO DE ARGUMENTAÇÃO DE TOULMIN (TAP).....	107

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - DETALHAMENTO DAS BASES DE DADOS UTILIZADAS NO ESTUDO.	6
QUADRO 2 - LINHAS DE LUZ DO SIRIUS.....	24
QUADRO 3 - COMUNICAÇÃO CIENTÍFICA VERSUS DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA.	36
QUADRO 4 – ESQUEMA DAS AULAS DURANTE A ID.	52
QUADRO 5 – RELAÇÃO DOS OEA EM RELAÇÃO A AD DO BLOCO 1.	64
QUADRO 6 – RESULTADOS ESTATÍSTICOS DA OEA EM RELAÇÃO AS AD NA 1ª ETAPA DA SEI.	65
QUADRO 7 – COMENTÁRIOS DOS PROF. ESPEM REFERENTE AO USO DA MAQUETE.....	65
QUADRO 8 – COMENTÁRIOS DOS PROF. ESPEM - QUESTÕES PROBLEMATIZADORAS.	66
QUADRO 9 – COMENTÁRIOS DOS PROF. ESPEM - SEQUÊNCIA DAS AÇÕES.....	67
QUADRO 10 – COMENTÁRIOS DOS PROF. ESPEM - TEMPO NA 1ª ETAPA DA SEI.	68
QUADRO 11 – RELAÇÃO DOS OEA COM AS AD DO BLOCO 2.....	69
QUADRO 12 – RESULTADOS ESTATÍSTICOS DA OEA EM RELAÇÃO AS AD NA 2ª ETAPA DA SEI.	70
QUADRO 13 – COMENTÁRIOS DOS PROF. ESPEM - RESOLUÇÃO DAS QUESTÕES.	70
QUADRO 14 – COMENTÁRIOS DOS PROF. ESPEM REFERENTE AO TEMPO NO SEGUNDO BLOCO.	71
QUADRO 15 – RELAÇÃO DOS OEA COM AS AD DO BLOCO 3.....	72
QUADRO 16 – RESULTADOS ESTATÍSTICOS DA OEA EM RELAÇÃO AS AD NA 3ª ETAPA DA SEI.	72
QUADRO 17 – COMENTÁRIOS DOS PROF. ESPEM REFERENTE AO TEMPO DO BLOCO 3.....	73
QUADRO 18 – COMENTÁRIO DOS PROF. ESPEM - MATERIAL DE CONTEXTUALIZAÇÃO.....	73
QUADRO 19 – RELAÇÃO DOS OEA COM AS AD DO BLOCO 4.....	75
QUADRO 20 – RESULTADOS ESTATÍSTICOS DA OEA EM RELAÇÃO AS AD NA 4ª ETAPA DA SEI.	75
QUADRO 21 – COMENTÁRIOS DOS PROF. ESPEM REFERENTE AS ATIVIDADES PROPOSTAS.....	77
QUADRO 22 – SÍNTESE DOS COMENTÁRIOS E SUGESTÕES DOS PROF. ESPEM.....	79
QUADRO 23 – TESTE DIAGNÓSTICO REALIZADO COM OS ESTUDANTES DO ENSINO SUPERIOR.....	80
QUADRO 24 – TESTE DIAGNÓSTICO REALIZADO COM OS ESTUDANTES DO ENSINO SUPERIOR.....	82
QUADRO 25 – RESPOSTAS DOS EST. SOBRE AS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS (PERGUNTA 1).	83
QUADRO 26 – RESPOSTAS DOS EST. SOBRE ACELERADORES DE PARTÍCULAS (PERGUNTA 2).	85
QUADRO 27 – RESPOSTAS DO EST. SOBRE O ACELERADOR DE PARTÍCULAS SIRIUS (PERGUNTA 3).	86
QUADRO 28 – RESPOSTAS DOS EST. SOBRE A FUNÇÃO DOS ACELERADORES DE PARTÍCULAS.	86
QUADRO 29 – PROBLEMA EXPERIMENTAL OU TEÓRICO (PRIMEIRA ETAPA DA SEI).....	88
QUADRO 30 – RESPOSTAS DOS ESTUDANTES SOBRE O APARATO EXPERIMENTAL.	88
QUADRO 31 – RESPOSTAS DOS ESTUDANTES SOBRE O FORMATO DO ACELERADOR.....	90
QUADRO 32 – RESPOSTAS DOS ESTUDANTES SOBRE O AUMENTO DA VELOCIDADE DAS PARTÍCULAS.	92
QUADRO 33 – RESPOSTAS DOS ESTUDANTES SOBRE AS CABINES EXPERIMENTAIS.....	93
QUADRO 34 – RESPOSTAS DO EST. 6 DA ATIVIDADE 1 (GLOSSÁRIO).	95

QUADRO 35 – RESPOSTAS DO EST. 7 DA ATIVIDADE 1 (GLOSSÁRIO).	96
QUADRO 36 – RESPOSTAS DO EST. 8 DA ATIVIDADE 1 (GLOSSÁRIO).	97
QUADRO 37 – RESPOSTAS DO EST. 9 DA ATIVIDADE 1 (GLOSSÁRIO).	98
QUADRO 38 – RESPOSTAS DO EST. 10 DA ATIVIDADE 1 (GLOSSÁRIO).	98
QUADRO 39 – RESPOSTAS DO EST. 11 DA ATIVIDADE 1 (GLOSSÁRIO).	99
QUADRO 40 – RESPOSTAS DO EST. 12 DA ATIVIDADE 1 (GLOSSÁRIO).	100
QUADRO 41 – RESPOSTAS DO EST. 15 DA ATIVIDADE 1 (GLOSSÁRIO).	101
QUADRO 42 – RESPOSTAS DO EST. 16 DA ATIVIDADE 1 (GLOSSÁRIO).	101
QUADRO 43 – RESPOSTAS DO EST. 19 DA ATIVIDADE 1 (GLOSSÁRIO).	102
QUADRO 44 – RESPOSTAS DO EST. 20 DA ATIVIDADE 1 (GLOSSÁRIO).	103
QUADRO 45 – RESPOSTAS DO EST. 22 DA ATIVIDADE 1 (GLOSSÁRIO).	103
QUADRO 46 – RESPOSTAS DO EST. 24 DA ATIVIDADE 1 (GLOSSÁRIO).	104
QUADRO 47 – RESPOSTAS DO EST. 25 DA ATIVIDADE 1 (GLOSSÁRIO).	105
QUADRO 48 – ATIVIDADE (COMPREENSÃO E SUMÁRIO)	107
QUADRO 49 – RESPOSTA DO EST. 6 REFERENTE AS DUAS PRIMEIRAS QUESTÕES DA ATIVIDADE 4. ...	108
QUADRO 50 – ANÁLISE DAS RESPOSTAS DO ESTUDANTE 6 COM O USO DA TAP.	108
QUADRO 51 – RESPOSTA DO EST. 7 REFERENTE AS DUAS PRIMEIRAS QUESTÕES DA ATIVIDADE 4. ...	109
QUADRO 52 – ANÁLISE DAS RESPOSTAS DO ESTUDANTE 7 COM O USO DA TAP.	109
QUADRO 53 – RESPOSTA DO EST. 8 REFERENTE AS DUAS PRIMEIRAS QUESTÕES DA ATIVIDADE 4. ...	110
QUADRO 54 – ANÁLISE DAS RESPOSTAS DO ESTUDANTE 8 COM O USO DA TAP.	110
QUADRO 55 – RESPOSTA DO EST. 9 REFERENTE AS DUAS PRIMEIRAS QUESTÕES DA ATIVIDADE 4. ...	111
QUADRO 56 – ANÁLISE DAS RESPOSTAS DO ESTUDANTE 9 COM O USO DA TAP.	111
QUADRO 57 – RESPOSTA DO EST. 10 REFERENTE AS DUAS PRIMEIRAS QUESTÕES DA ATIVIDADE 4. .	112
QUADRO 58 – ANÁLISE DAS RESPOSTAS DO ESTUDANTE 10 COM O USO DA TAP.	112
QUADRO 59 – RESPOSTA DO EST. 12 REFERENTE AS DUAS PRIMEIRAS QUESTÕES DA ATIVIDADE 4. ...	113
QUADRO 60 – ANÁLISE DAS RESPOSTAS DO ESTUDANTE 12 COM O USO DA TAP.	113
QUADRO 61 – RESPOSTA DO EST. 15 REFERENTE AS DUAS PRIMEIRAS QUESTÕES DA ATIVIDADE 4. .	114
QUADRO 62 – ANÁLISE DAS RESPOSTAS DO ESTUDANTE 15 COM O USO DA TAP.	114
QUADRO 63 – RESPOSTA DO EST. 16 REFERENTE AS DUAS PRIMEIRAS QUESTÕES DA ATIVIDADE 4. .	115
QUADRO 64 – ANÁLISE DAS RESPOSTAS DO ESTUDANTE 16 COM O USO DA TAP.	115
QUADRO 65 – RESPOSTA DO EST. 19 REFERENTE AS DUAS PRIMEIRAS QUESTÕES DA ATIVIDADE 4. .	116
QUADRO 66 – ANÁLISE DAS RESPOSTAS DO ESTUDANTE 19 COM O USO DA TAP.	116
QUADRO 67 – RESPOSTA DO EST. 20 REFERENTE AS DUAS PRIMEIRAS QUESTÕES DA ATIVIDADE 4. .	117
QUADRO 68 – ANÁLISE DAS RESPOSTAS DO ESTUDANTE 20 COM O USO DA TAP.	117
QUADRO 69 – RESPOSTA DO EST. 22 REFERENTE AS DUAS PRIMEIRAS QUESTÕES DA ATIVIDADE 4. .	118
QUADRO 70 – ANÁLISE DAS RESPOSTAS DO ESTUDANTE 22 COM O USO DA TAP.	118

QUADRO 71 – RESPOSTA DO EST. 24 REFERENTE AS DUAS PRIMEIRAS QUESTÕES DA ATIVIDADE 4. .	119
QUADRO 72 – ANÁLISE DAS RESPOSTAS DO ESTUDANTE 24 COM O USO DA TAP.	119
QUADRO 73 – RESPOSTA DO EST. 25 REFERENTE AS DUAS PRIMEIRAS QUESTÕES DA ATIVIDADE 4. .	120
QUADRO 74 – ANÁLISE DAS RESPOSTAS DO ESTUDANTE 25 COM O USO DA TAP.	120
QUADRO 75 – ATIVIDADE 3 (VERDADEIRO OU FALSO).....	122
QUADRO 76 – JUSTIFICATIVA DOS ESTUDANTES DA ASSERTIVA 1.	123
QUADRO 77 – JUSTIFICATIVA DOS ESTUDANTES DA ASSERTIVA 2.....	124
QUADRO 78 – JUSTIFICATIVA DOS ESTUDANTES DA ASSERTIVA 3.	125
QUADRO 79 – JUSTIFICATIVA DOS ESTUDANTES DA ASSERTIVA 4.....	126
QUADRO 80 – JUSTIFICATIVA DOS ESTUDANTES DA ASSERTIVA 5.	127
QUADRO 81 – JUSTIFICATIVA DOS ESTUDANTES DA ASSERTIVA 6.	128
QUADRO 82 – ATIVIDADE DE CONTEXTUALIZAÇÃO – 3ª ETAPA DA SEI.	129
QUADRO 83 – RESPOSTAS DOS ESTUDANTES SOBRE A ATIVIDADE DE CONTEXTUALIZAÇÃO.	129
QUADRO 84 – ATIVIDADE 5 (LINHAS E ESTAÇÕES EXPERIMENTAIS).	131
QUADRO 85 – AVALIAÇÃO FINAL.	133
QUADRO 86 – ANÁLISE DA REPOSTA DO ESTUDANTE 7 COM BASE NA AC.	134
QUADRO 87 – ANÁLISE DA REPOSTA DO ESTUDANTE 9 COM BASE NA AC.	135
QUADRO 88 – ANÁLISE DA REPOSTA DO ESTUDANTE 10 COM BASE NA AC.	136
QUADRO 89 – ANÁLISE DA REPOSTA DO ESTUDANTE 12 COM BASE NA AC.	137
QUADRO 90 – ANÁLISE DA REPOSTA DO ESTUDANTE 15 COM BASE NA AC.	138
QUADRO 91 – ANÁLISE DA REPOSTA DO ESTUDANTE 16 COM BASE NA AC.	139
QUADRO 92 – ANÁLISE DA REPOSTA DO ESTUDANTE 19 COM BASE NA AC.	140
QUADRO 93 – ANÁLISE DA REPOSTA DO ESTUDANTE 20 COM BASE NA AC.	141
QUADRO 94 – ANÁLISE DA REPOSTA DO ESTUDANTE 22 COM BASE NA AC.	142
QUADRO 95 – ANÁLISE DA REPOSTA DO ESTUDANTE 24 COM BASE NA AC.	143
QUADRO 96 – COMENTÁRIOS DOS ESTUDANTES DO E.S. SOBRE A SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	145

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Alfanetização Científica
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CBPF	Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
CLS	Canadian Light Source
CNPEM	Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CTSA	Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente
DC	Divulgação Científica
DESY	Deutsches Elektronen Synchrotron
EPEM	Escola Sirius para Professores do Ensino Médio
ESRF	European Synchrotron Radiation Facility
IASD	Instrumento Avaliativo da Sequência Didática
ID	Intervenção Didática
LHC	Large Hadron Collider
LNBio	Laboratório Nacional de Biociências
LNBR	Laboratório Nacional de Biorrenováveis
LNLS	Laboratório Nacional de Luz Síncrotron
LNNano	Laboratório Nacional de Nanotecnologia
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
OBA	Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica
OBF	Olimpíada Brasileira de Física
PNI	Pesquisa de Natureza Interventiva
RAU	Reuniões Anuais de Usuários
SBF	Sociedade Brasileira de Física
SD	Sequência Didática
SEI	Sequência de Ensino Investigativo
SRS	Synchrotron Radiation Source
SSRL	Stanford Synchrotron Radiation Laboratory
TAP	Padrão de Argumento de Toulmin
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo Geral.....	3
1.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Estrutura Organizacional da Tese	4
2. ACELERADORES DE PARTÍCULAS E LUZ SÍNCROTRON: UMA BREVE REVISÃO DA LITERÁRIA.....	5
2.1 Realização de uma Primeira Análise.....	5
2.2 Realização de uma Segunda Análise.....	6
3. ENTENDENDO A LUZ SÍNCROTRON.....	9
3.1 Panorama Histórico	9
3.2 Gerações da luz síncrotron	11
3.2.1 Primeira Geração.....	12
3.2.2 Segunda Geração.....	13
3.2.3 Terceira Geração	13
3.2.4 Quarta Geração.....	14
3.3 Como acontece a produção da luz síncrotron?.....	14
3.4 Histórico da luz síncrotron no Brasil.....	14
3.4.1 Construção da primeira fonte de luz síncrotron no Brasil.....	16
3.4.2 Desenvolvimento dos componentes para a construção do Sirius	17
3.4.3 Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM)	18
3.4.4 A Estrutura do Sirius	19
3.4.5 Programas de educação com aceleradores de partículas	26
4. DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA	34
4.1 Divulgação Científica versus comunicação científica.....	35
4.2 Divulgação Científica sob a perspectiva sócio-cultural	37
4.3 Divulgação Científica sob a perspectiva discursiva	38
4.4 Fakes News e os impactos na Divulgação Científica.....	39
4.5 Divulgação Científica e o contexto escolar	41
4.5.1 Contribuições didática da Divulgação Científica.....	42
5. METODOLOGIA DA PESQUISA	45
5.1 Caracterização dos sujeitos e campo da pesquisa	45
5.2 Contato com os envolvidos na pesquisa.....	46
5.3 Cuidados Éticos.....	46
5.4 Procedimentos metodológicos.....	47

5.4.1 Construção da SD com base na SEI	47
5.4.2 Construção da Maquete Didática	49
5.4.3 Processo de Validação com os Professores da ESPEM	50
5.4.4 Processo de Validação com os Estudantes do Ensino Superior	52
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
6.1 Validação da Sequência Didática com os Professores participantes da ESPEM	61
6.1.1 Análise dos Resultados do Primeiro Bloco Avaliativo	63
6.1.2 Análise dos Resultados do Segundo Bloco Avaliativo	69
6.1.3 Análise dos Resultados do Terceiro Bloco Avaliativo.....	71
6.1.4 Análise dos Resultados do Quarto Bloco Avaliativo	74
6.1.5 Ajustes e Modificações com Base na Intervenção com os Professores da ESPEM.....	78
6.2 Desenvolvimento da Sequência Didática com Estudantes do Ensino Superior	80
6.2.1 Resultados do Teste Diagnóstico	82
6.2.2 Resultados Referente a Primeira Etapa da SEI	87
6.2.3 Resultados Referente a Segunda Etapa da SEI	95
6.2.4 Resultados Referente a Terceira Etapa da SEI.....	121
6.2.5 Resultados Referente a Avaliação Final da Intervenção	133
6.2.6 Reflexões sobre a Intervenção Didática com os estudantes do Ensino Superior	145
CONSIDERAÇÕES FINAIS	148
REFERÊNCIAS	153
APÊNDICE A – Relação dos Livros Didáticos Avaliados	162
APÊNDICE B – Trabalhos publicados em eventos abordando o ensino de Aceleradores de Partículas, luz síncrotron e a divulgação do Sirius	164
APÊNDICE C – Instrumento Avaliativo da Sequência Didática.....	166
APÊNDICE D – Teste Diagnóstico	177
APÊNDICE E – Questões Problematizadoras	178
APÊNDICE F – Resolução das Questões Problematizadoras.....	179
APÊNDICE G – Maquete Educacional	184
APÊNDICE H – Sistematização do Conhecimento	198
APÊNDICE I – Processo de Contextualização do Conhecimento do Ponto de Vista Social	203
APÊNDICE J – Aprofundamento do Conteúdo.....	205
APÊNDICE K – Avaliação Final.....	218
ANEXO A – Parecer do Comitê de Ética	215
ANEXO B – Termo de Compromisso e Confiabilidade	216
ANEXO C – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	217

1. INTRODUÇÃO

A Ciência exerce uma grande influência em nossa vida cotidiana, a ponto de ser difícil imaginar com seria o mundo atual sem a sua contribuição ao longo do tempo (Martins, 2019). Durante esse período, a ciência demonstrou sua importância para a sociedade, pois o desenvolvimento social e econômico de um país depende significativamente de investimentos em pesquisa científica. A ciência está presente em nosso cotidiano, e precisamos dos conhecimentos científicos para progredir e sobreviver diante das mudanças frequentes (Oliveira; Silveira, 2013).

De acordo com o autor mencionado anteriormente, a Ciência caracteriza-se por uma preocupação contínua em compreender, descrever e propor teorias racionais para explicar os fenômenos que ocorrem em nosso meio. Mesmo no passado, quando a contribuição da Ciência para a vida cotidiana nem sempre era percebida claramente, a humanidade passou a dominar técnicas que teriam grande relação com a Ciência no futuro, tais como a descoberta do uso do fogo e as técnicas de mumificação. Na contemporaneidade, a Ciência desempenha um papel fundamental no entendimento humano da realidade e do significado do mundo em que vivemos. A ciência atua a partir desses conhecimentos, proporcionando condições que contribuem para a permanência e evolução da espécie humana no planeta Terra.

Kuhn (1997) define ciência como uma atividade altamente determinada, consistindo na resolução de problemas dentro de uma unidade metodológica chamada paradigma. Embora suficiente aberto, o paradigma delimita os problemas a serem resolvidos em um determinado campo científico. A ciência muitas vezes lida com questões éticas, como clonagem e manipulações genéticas em animais em laboratórios, atuando no limiar entre o certo e o errado.

Para Moreira (2018), a ciência pode ser entendida como um processo de descoberta de fatos e busca leis, criando modelos, para explicar fenômenos, enriquecendo, ordenadamente, o conhecimento humano sobre a natureza. O estudo de Ciências para o educando deve consistir em descobrir e conhecer seu mundo, esclarecer suas dúvidas e valorizar o ambiente ao seu redor.

Reis (2020) argumenta que a Ciência desempenha um papel crucial na compreensão de questões sociocientíficas relevantes e/ou controversas, auxiliando na tomada de decisões conscientes diante das posições de cientistas e/ou de políticos. Isso é especialmente importante em tempos de pós-verdade, nos quais o desconhecimento sobre o que é Ciência pode levar ao negacionismo a movimentos anticiência.

Prado (2023) argumenta que a evolução da ciência é constante, e o progresso tecnológico de um país está intrinsecamente ligado aos investimentos em Ciência, que oferecem recursos para ampliar e aperfeiçoar os conhecimentos científicos. A Ciência é o motor do avanço em todas as áreas do conhecimento, refletindo diretamente na melhoria das condições de vida das pessoas. Portanto, acreditamos que é fundamental que as políticas de desenvolvimento e investimento, por meio da Ciência e Tecnologia, sejam consideradas prioritárias e acessíveis a todos.

Atualmente, a maioria dos países desenvolvidos conta com sistemas de Ciência e Tecnologia compostos tanto por universidades quanto por institutos de pesquisa independentes, financiados com orçamento público e privado (Galdino, 2021). Essas instituições representam parte significativa, quando não a maior, da pesquisa de ponta desenvolvida nesses países. Entre as vantagens desse tipo de infraestrutura estão a multidisciplinaridade de suas equipes e sua escala de produção. No Brasil, a maior parte da pesquisa científica e tecnológica ainda é realizada dentro das universidades, sendo poucas as instituições de grande porte voltadas para desafios comuns, como a Embrapa ou a Fiocruz (Galdino, 2021).

Uma das principais instalações de pesquisa do Brasil é o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), uma instituição multidisciplinar integrada ao Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), localizada em Campinas, São Paulo. A luz síncrotron é gerada quando elétrons alcançam velocidades relativísticas, sendo acelerados em um acelerador de partículas. Ao interagir com as amostras, esses elétrons funcionam como um extenso microscópio. O processo inicia-se com a aceleração dos elétrons por um canhão específico, e, ao imergirem em campos magnéticos, adquirem velocidade e energia, sendo desviados por esses campos. O desvio resultante, quando os elétrons atingem velocidades relativísticas, é responsável pela produção da luz síncrotron. Em 1997, o Brasil inaugurou sua própria fonte de luz síncrotron, o UVX, no CNPEM (Silva, 2017).

Em 2006, o CNPEM iniciou os estudos para a construção da segunda fonte de luz síncrotron brasileira, chamada Sirius, em resposta ao aumento do número de usuários ao longo dos anos e à possibilidade de construção de fontes de luz mais modernas (CNPEM, 2020). Com um custo aproximado de R\$ 2 bilhões (Esteves, 2017), o Sirius representou o maior investimento na maior e mais complexa infraestrutura científica já construída no país.

O Sirius, considerado de 4ª geração junto com o MAX-IV, da Suécia, foi projetado para colocar o Brasil na liderança mundial de produção de luz síncrotron, planejado para ter o maior brilho dentre todos os equipamentos na sua classe de energia (Silva, 2017). Fontes de luz

síncrotron constituem um exemplo sofisticado de infraestrutura de pesquisa aberta e multidisciplinar, sendo uma ferramenta-chave para a resolução de questões importantes para as comunidades acadêmicas e industriais.

A versatilidade de uma fonte de luz síncrotron permite o desenvolvimento de pesquisas em áreas estratégicas, como energia, alimentação, meio ambiente, saúde, defesa e muitas outras. É por isso que a tecnologia da luz síncrotron está se tornando cada vez mais popular em todo o mundo, sendo adotada por países com economias fortes e baseadas em tecnologia (LNLS, 2019). Apesar dos desafios, técnicos e financeiros, o Sirius reforça a posição privilegiada do Brasil na vanguarda da pesquisa científica, tanto na produção de aceleradores quanto nas pesquisas que podem ser desenvolvidas a partir dessa luz. Apesar de ter muitos entusiastas, alguns podem expressar dúvidas sobre esse investimento em um país com grandes desigualdades sociais e falta de conhecimento sobre o projeto e suas potenciais vantagens.

A questão de pesquisa que propomos com este trabalho é: como a luz síncrotron e o acelerador de partículas Sirius, vem sendo apresentado a população, especificamente ao público escolar? Acreditamos que a divulgação científica é um dos caminhos para apresentar o projeto e debater os diversos pontos de vista que se apresentam a partir de uma linguagem acessível e uma perspectiva democrática (França, 2015). Nessa perspectiva, acreditamos que a Divulgação Científica pode contribuir, portanto, para incluir os estudantes no debate sobre as pesquisas desenvolvidas no Sirius permitindo-lhes a compreensão do mundo em que vivem e, sobretudo, assimilar as novas descobertas, o progresso científico, com ênfase no processo de educação científica.

1.1 Objetivo Geral

Diante do exposto, nosso objetivo consiste no **planejamento** de uma sequência didática, direcionada para estudantes do ensino médio, buscando abordar a luz síncrotron e a divulgação do acelerador de partículas brasileiro Sirius.

1.2 Objetivos Específicos

Como objetivo específico temos:

- Estruturar e desenvolver uma sequência de ensino investigativo sobre a radiação eletromagnética da luz síncrotron;
- Verificar as possibilidades e os limites do desenvolvimento de atividades de Divulgação Científica sobre o Sirius;

- Desenvolver materiais didáticos que deem suporte as explorações pretendidas;
- Validar uma sequência didática com os professores de Ciências que participaram da Escola Sirius para Professores do Ensino Médio (ESPEM);
- Investigar os processos argumentativos dos estudantes, que participaram da intervenção didática, em relação aos fenômenos estudados, utilizando o Padrão de Argumentação de Toulmin (TAP);
- Identificar as potencialidades e fragilidades da SEI para a promoção da Alfabetização Científica.

1.3 Estrutura Organizacional da Tese

Este estudo está estruturado em diversos capítulos que delineiam de forma abrangente a pesquisa desenvolvida. No primeiro capítulo, no qual nos encontramos, dedicamo-nos à Introdução, onde apresentamos os objetivos geral e específicos, além de esboçar a estrutura organizacional da tese.

No segundo capítulo, intitulado "Aceleradores de Partículas e Luz Síncrotron: uma breve revisão da literatura", conduzimos um levantamento da produção científica relacionada ao tema. Adicionalmente, oferecemos uma reflexão sobre pesquisas similares em objetivos e metodologias.

O terceiro capítulo adentra o universo da Luz Síncrotron, explorando seu contexto histórico, gerações e sua presença no território brasileiro, exemplificado pelos aceleradores UVX e, mais recentemente, o Sirius.

No quarto capítulo, voltamo-nos para a Divulgação Científica, abordando princípios, conceitos e perspectivas sócio-culturais e discursivas, além de seu papel no contexto escolar.

O quinto capítulo oferece uma visão detalhada da Metodologia, delineando o tipo de pesquisa, caracterização dos sujeitos, procedimentos metodológicos, instrumentos de investigação e elementos de análise dos dados coletados.

No sexto capítulo, avançamos para a Análise e Discussão dos Resultados obtidos na pesquisa, envolvendo tanto os professores participantes da ESPEM quanto o grupo de estudantes do Ensino Superior.

Finalmente, nas Considerações Finais, apresentamos não apenas as conclusões do estudo, mas também os documentos que sustentaram o desenvolvimento da pesquisa, incluindo apêndices e anexos. Essa estrutura visa proporcionar uma abordagem completa e organizada do trabalho realizado.

2. ACELERADORES DE PARTÍCULAS E LUZ SÍNCROTRON: UMA BREVE REVISÃO DA LITERÁRIA

Para embasar nossa pesquisa, buscou-se um levantamento de dados, do tipo estado da arte, voltados ao ensino de Ciências, especificamente, na abordagem sobre o Acelerador de Partículas, no intuito de mapear os assuntos e a forma como tal assunto é abordado em livros didáticos e em pesquisas desenvolvidas e publicadas nos principais eventos e revistas do país. Após esse levantamento, foi traçado um panorama dos últimos estudos na área, suas tendências e suas principais considerações.

2.1 Realização de uma Primeira Análise

A primeira análise foi realizada nos livros didáticos, na biblioteca da Escola de Referência para o Ensino Médio – EREM Antonio Dias Cardoso, localizada na cidade de Vitória de Santo Antão –PE. A escola foi escolhida tendo em vista por ser de referência para o município. A biblioteca possui diversos livros, didáticos e paradidáticos, de diversas áreas do conhecimento. Para essa análise, foi escolhida uma amostragem de 20 exemplares dos últimos livros didáticos que foram trabalhados com os estudantes, na área de Ciências da Natureza (Física, Química e Biologia) – áreas em que está sendo desenvolvida essa pesquisa.

A lista com o levantamento de todos os exemplares analisados sobre a temática do Acelerador de Partículas e da Luz Síncrotron acompanhadas de informações sobre os livros, o ano, autores, disciplina e suas respectivas observações estão contidas no Apêndice A.

Diante do levantamento, encontramos 4 exemplares abordando o Acelerador de Partícula, sendo um deles no livro de Química, dois de Física e um das Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Os quatros exemplares traz como exemplo o acelerador LHC (Grande Colisor de Hádrons), constituído de um túnel de 27 km, situado na fronteira entre Suíça e França.

Máximo e Alvarenga (2011), exemplar de Física, apresentam um breve contexto histórico do primeiro acelerador de partículas subatômica para obter partículas com altas energias. Esse feito, rendeu ao Físico americano Ernest Orlando o Prêmio Nobel de Física em 1939. Também mostra como esse acelerador funciona e finaliza com uma matéria sobre a Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (CERN) com a abordagem ao acelerador LHC.

O exemplar do *item 8* aborda a formação do Universo e dos modelos atômicos. Traz como exemplo o acelerador LHC, explicando que ele utiliza eletroímãs intensos para acelerar feixes de partículas perto da velocidade da luz. Ainda define que Hádrons é a classificação dada a partículas compostas de quarks, que são os componentes elementares de prótons e nêutrons.

Já no *item 11*, em uma página do livro, aborda o acelerador de partículas LHC enfatizando o grande avanço tecnológico em diversas áreas do conhecimento, como na pesquisa em Física Básica e Aplicada, que permitiu conhecer melhor a estrutura da matéria e a origem do Universo.

Por fim, o *item 18*, em meia página do livro, divulga uma imagem do LHC, contando um pouco da sua história e o que essa tecnologia possibilitou aprofundar os estudos nas propriedades dos núcleos atômicos.

Após a análise dos exemplares, percebemos que há uma carência de divulgação dessa tecnologia em sala de aula, uma falta de material de estudo que aborde a temática da luz síncrotron e uma necessidade de divulgação do acelerador de partícula brasileiro Sirius. Com isso, buscamos fazer uma segunda análise de produções em pesquisas científicas.

2.2 Realização de uma Segunda Análise

Para a segunda análise, foi realizado um levantamento de produções científicas, na qual procurou-se construir um mapeamento dos diversos trabalhos apresentados e publicados no período de 2008 a 2022, perfazendo um intervalo de 15 anos, em algumas Revistas, Eventos Científicos e no Banco de Teses e Dissertações no Portal de Periódicos da Capes.

Utilizamos como foco temático o Sirius e o Ensino da Luz Síncrotron e do Acelerador de Partícula. O levantamento das produções científicas, na área do Ensino de Ciências, foi realizado em base de dados, disponíveis na internet, de quatro Eventos Científicos de abrangência nacional, de cinco Revistas Científicas Periódicas Online com boa avaliação do Sistema Qualis, indicando estratos de qualidade, e do Portal de Periódicos da CAPES, detalhados no Quadro 1.

Quadro 1 - Detalhamento das Bases de Dados utilizadas no estudo.

BASE			ANO	LOCAL DE BUSCA	CRITÉRIO DE ESCOLHA
Eventos Científicos	ENPEC	Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências	2009 2011 2013 2015 2017 2019 2021	Atas disponibilizadas no site da Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (ABRAPEC)	Evento mais relevante no Ensino de Ciências
	SNEF	Simpósio Nacional de Ensino de Física	2009 2011 2013 2015 2017	Atas disponibilizadas no site da Sociedade Brasileira de Física (SBF)	Evento mais relevante no Ensino de Física

			2019 2021		
	ENE BIO	Encontro Nacional de Ensino de Biologia	2010 2012 2014 2016 2018 2021	Atas disponibilizadas no site da Associação Brasileira em Ensino de Biologia (SBEnBIO)	Evento mais relevante no Ensino de Biologia
	ENE Q	Encontro Nacional de Ensino de Química	2008 2010 2012 2014 2016 2018 2020 2022	Atas disponibilizadas no site da Sociedade Brasileira de Química (SBQ)	Evento mais relevante no Ensino de Química
Revistas Científicas	Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF)		2008 a 2022	Edições disponibilizadas no site da SBF: http://www.sbfisica.org.br/rbef/edicoes.shtml	Revista avaliada com Qualis A1 na área de Ensino
	Revista de Ensino de Biologia (RENBIO)		2008 a 2022	Edições disponibilizadas no site da SBEnBIO	Revista avaliada com Qualis B2 na área de Ensino
	Revista da Sociedade Brasileira de Ensino de Química (ReSBEnQ)		2008 a 2022	Edições disponibilizadas no site da SBEnQ	Revista avaliada com Qualis B1 na área de Ensino
	Ciência & Educação		2008 a 2022	Edições disponibilizadas no site da UNESP com a busca pelo sistema SciELO Brasil	Revista avaliada com Qualis A1 na área de Ensino
	Investigações em Ensino de Ciências		2008 a 2022	Edições disponibilizadas no site da UFRGS: http://www.if.ufrgs.br/ienci/	Revista avaliada com Qualis A2 na área de Ensino
Portal de Periódicos da CAPES		2008 a 2022	Banco de Teses da CAPES: http://bancodeteses.capes.gov.br/ Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD): http://bdtb.ibict.br/ Portal de Periódicos da Capes: http://periodicos.capes.gov.br/		

Fonte: Autoria Própria, 2022.

A seleção dos artigos se deu, inicialmente, através dos sistemas de busca dos sites repositórios procurando o título, nos autores, no resumo, nas palavras chave ou no desenvolvimento do trabalho pelos descritores: Acelerador de Partícula, Luz Síncrotron e Sirius. Posteriormente foi utilizado um filtro para selecionar os trabalhos apenas voltados para a educação. No caso dos eventos SNEF, ENEBIO e ENEQ, por não disponibilizarem um sistema de busca sistematizado, a identificação dos artigos foi realizada através de varredura das listagens e dos programas que disponibilizaram os artigos apresentados nas sessões de painéis e das comunicações orais distribuídas por áreas temáticas.

A apuração das produções em cursos de pós-graduação, Lato e Stricto Sensu, foi realizado através dos sistemas de busca por termos nos resumos, palavras chave, título na Base do Banco de Teses da Capes, da Plataforma do Portal de Periódicos da Capes, da Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e através do sistema de busca do Google Brasil.

A partir destes descritores selecionamos os artigos pertinentes ao foco da pesquisa, realizamos a leitura dos mesmos para posterior análise das abordagens teórico-metodológicas, além de localizar os grupos de pesquisadores e mapear as suas instituições. Após a identificação de todas as produções, nos propomos a realizar uma análise sobre as intenções dos pesquisadores, categorizando essas intenções em tendências: Motivação, Ensino de Conteúdos, Divulgação da técnica, Contextualização ou Construção de competências.

A lista com o levantamento de todas as produções publicadas sobre Acelerador de Partícula encontradas, acompanhadas de informações tais como a descrição do Evento ou Revista, ano, título, autores e instituições dos grupos de pesquisa que os produziram estão contidas no Apêndice B.

Diante do levantamento, encontramos 21 pesquisas abordando os Aceleradores de Partículas na área de Ensino e Educação. Vale salientar que nos últimos cinco anos houve um crescimento no número de trabalhos publicados em torno de 38%, o que expressa um avanço na tendência de investigações dessa temática. Salientamos que não foram encontradas produções sobre Aceleradores de Partículas no ENEBIO, ENEQ, RENBIO, ReSBEnQ e na Revista de Investigações em Ensino de Ciências.

Após a análise das tendências nas pesquisas investigadas percebemos que 38,1% foram voltados para o ambiente escolar e 19% das publicações abordaram a temática do Acelerador de Partícula utilizando o LHC – Large Hadron Collider (Grande Colisor de Hádrons) como exemplo.

Consideramos que todo esse levantamento de dados e análise de tendência foi de fundamental importância para embasar nossa pesquisa. Foi possível observar que, apesar de alguns avanços relacionados ao estudo de aceleradores de partículas, encontramos um número reduzido de produção que aborde a luz síncrotron e a divulgação do Sirius no ambiente escolar. Sinalizamos para uma necessidade premente de estudos que utilize atividades didáticas abordando essa temática.

3. ENTENDENDO A LUZ SÍNCROTRON

O avanço tecnológico na Ciência dos materiais depende hoje, e cada vez mais, do desenvolvimento e entendimento de compostos mais complexos e sofisticados (Santos, 2013). Uma das formas de se chegar a este entendimento é o estudo e a observação detalhada de suas estruturas. É uma das formas de se observar essas estruturas e a natureza como um todo é por meio das radiações eletromagnéticas. Esta radiação pode ser considerada como um conjunto de ondas (elétricas e magnéticas) cuja velocidade no vácuo é, aproximadamente, $3 \cdot 10^8$ m/s. As várias formas de radiação, caracterizadas pelo seu comprimento de onda, compõem o espectro eletromagnético (Halliday et al., 2016).

A luz, que é uma radiação eletromagnética, ao incidir nos objetos, é refletida e pode ser captada pelos nossos olhos ou detectores eletrônicos. Para observar objetos microscópicos, por exemplo, podemos usar a luz como radiação e o microscópio ótico como detector, com um conjunto de lentes capaz de ampliar a imagem (Santos, 2013).

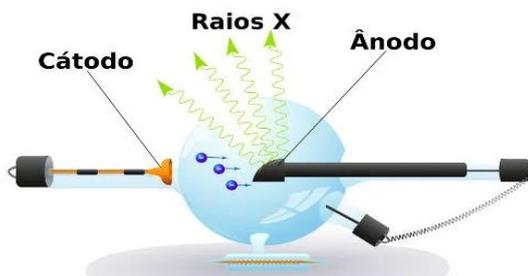
No caso de nanomateriais, que são materiais que possuem graus estruturais da ordem de 10^{-9} m, ou um nanômetro (que é igual a um milionésimo de milímetros), uma boa opção para estudar a sua estrutura molecular é com a utilização da luz síncrotron, produzida em grandes máquinas que aceleram partículas. Esse tipo de luz tem comprimento de onda variável – entre infravermelho e raios X, além de grande intensidade e alto brilho, duas importantes propriedades físicas para a obtenção de imagens com alta resolução (Santos, 2013).

3.1 Panorama Histórico

A base teórica da radiação da luz síncrotron têm suas origens em 1838 quando Michael Faraday notou um brilho entre dois eletrodos em um tubo de vidro a vácuo (Santos, 2013). Em 1895 os raios X foram descobertos pelo físico alemão Wilhelm Rontgen em seu laboratório na Universidade de Munique. A descoberta de Rontgen atraiu a atenção de vários pesquisadores que estavam interessados em estabelecer a natureza dos raios recém-descobertos (Teixeira et al., 2017).

Os raios X são radiações eletromagnéticas, com uma frequência alta, que são produzidos através de colisões de feixes de elétrons com metais. Em um tubo de raios catódicos, o cátodo, após ser aquecido pela passagem da corrente elétrica, libera elétrons com alta velocidade. Esses elétrons são fortemente atraídos pelo ânodo, no qual acabam se colidindo, como ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Tubo de raios catódicos.



Fonte: Silas, 2022.

Quando os elétrons dos átomos pertencentes ao ânodo recebem a energia oriunda dos elétrons em movimento, o resultado é a produção de radiações eletromagnéticas, que são denominadas de raios X. Essa radiação não pode ser percebida pelo olho humano, pelo fato de ter uma frequência acima da distinguida pela visão humana.

Em 1910, Max Von Laue percebeu que os raios X enquadravam-se no espectro eletromagnético com um comprimento de onda menor que a luz visível, eles interagem com as estruturas cristalinas para produzir um padrão de difração característicos das propriedades do cristal. Logo após a publicação dos dados de Von Laue, William Lawrence Bragg reformulou as condições de difração de Von Laue, as quais ficaram conhecidas como Lei de Bragg, que fornece uma relação direta entre o espaçamento dos planos atômicos em cristais e os ângulos de incidência em que estes planos produzem os reflexos mais intensos de radiações eletromagnéticas, tais como os raios X e os raios gama (Teixeira et al., 2017).

Embora esses resultados tenham sido notáveis, os tubos de raios-X eram limitados: a luz era emitida em todas as direções, sem possibilidades de focalizá-las. Essa luz também era intensa apenas em comprimentos de onda específicos, o que restringia seu uso. Em 1911, Ernest Rutherford desenvolveu o famoso modelo planetário do átomo, um pequeno núcleo cercado por elétrons em órbita, com base em experimentos em que partículas alfa foram disparadas contra uma folha de ouro e as trajetórias resultantes analisadas. Rutherford percebeu que as partículas aceleradas eram ferramentas úteis para investigar a estrutura da matéria (Halliday et al., 2016).

Uma fonte alternativa de raios-X surgiu do trabalho com aceleradores de partículas, que são equipamentos que fornecem energia a feixes de partículas, como por exemplo os elétrons, os prótons e os nêutrons. Após essas partículas serem aceleradas, passam por um campo magnético que as desviam de suas trajetórias. Os primeiros aceleradores de partículas foram construídos por físicos na década de 1930. Nessas máquinas, o núcleo do átomo foi dividido usando colisões de partículas de alta energia (Teixeira et al., 2017).

A radiação síncrotron foi vista pela primeira vez na empresa multinacional General Electric nos Estados Unidos em 1947 (Figura 2) em um tipo diferente de acelerador de partículas (síncrotron), tal radiação foi reconhecida como luz com propriedades excepcionais que superavam as deficiências dos tubos de raios-X (Santos, 2013).

Figura 2 - Câmara de vácuo de um síncrotron da General Electric de 1947.



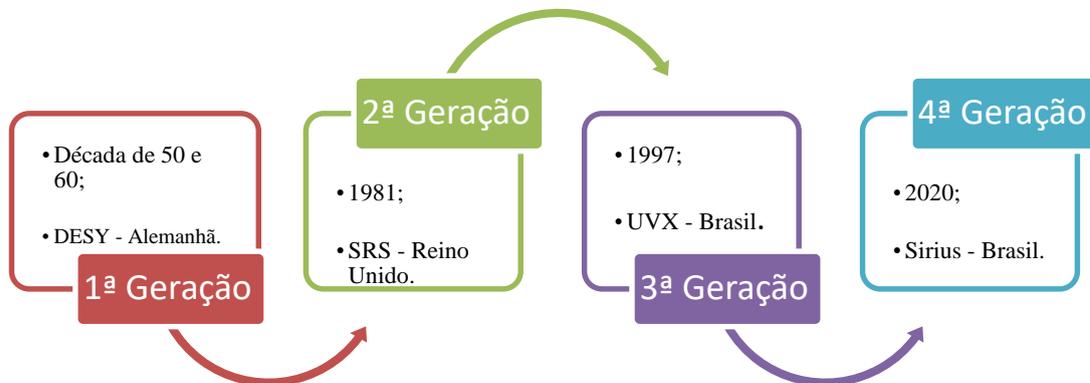
Fonte: CLS, 2021.

Atualmente, existem mais de 50 fontes de luz síncrotron em todo o mundo, realizando diversos experimentos com aplicações em biologia, engenharia, ciência dos materiais, patrimônio cultural, ciência ambiental, etc.

3.2 Gerações da luz síncrotron

Durante muitos anos, a radiação Síncrotron era apenas usada para estudos de física de partículas de alta energia. Isso mudou em 1980, quando o Reino Unido construiu o primeiro Síncrotron do mundo dedicado à produção de luz síncrotron para experimentos. Posteriormente, foram criados dispositivos de inserção que criavam feixes muito brilhantes e ajustáveis, com comprimento de onda que podiam variar (Petroff, 2017). Cada fase de evolução da luz síncrotron foi dividida em gerações: primeira, segunda, terceira e quarta geração, como ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Gerações da luz síncrotron.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

3.2.1 Primeira Geração

O período definido como a primeira geração ocorreu nas décadas de 50 e 60 com aceleradores de partículas dedicados as pesquisas na área da física nuclear, que foram modificados para permitir um acesso contínuo a pesquisadores que desejassem trabalhar com a radiação síncrotron. Foi o caso, por exemplo, do DESY (Deutsches Elektronen Synchrotron ou Síncrotron de Elétrons Alemão) na Alemanha.

A partir do final da década de 60 e início de 70, começam a surgir os aceleradores de partículas baseados em anéis de armazenamento, um tipo de acelerador síncrotron capaz de manter os feixes de partículas circulando por longos períodos de tempo, repondo a energia perdida pelas partículas devido à emissão de radiação (Petroff, 2017).

Para a física nuclear e de partículas, um anel de armazenamento aumenta o controle sobre onde e como as partículas aceleradas colidirão entre si ou com um alvo. Para os cientistas interessados em utilizar a radiação síncrotron, o anel de armazenamento faz com que a produção dessa radiação seja contínua, garantindo longos períodos de exposição das amostras que desejassem analisar.

Estes eram, no entanto, equipamentos para investigação em Física Nuclear ou Física de partículas e não eram projetados ou utilizados exclusivamente para a produção de luz síncrotron.

3.2.2 Segunda Geração

Com o sucesso da utilização da radiação síncrotron em experimentos por diferentes áreas de pesquisa, começaram a surgir equipamentos projetados de forma otimizada para sua produção e dedicados exclusivamente para o seu uso. Essa ficou conhecida como a Segunda Geração de fonte de luz síncrotron.

O primeiro síncrotron dessa nova geração foi o Synchrotron Radiation Source (SRS) em Daresbury, no Reino Unido. Ele iniciou sua operação em 1981, com energia de 2 GeV (Giga-elétrons-volt) – unidade de 2 bilhões de elétrons-volt, sabendo que 1 elétron-volt equivale a aproximadamente $1,6 \cdot 10^{-19}$ Joules. Em outros países, desenvolvimentos semelhantes estavam ocorrendo com a construção de novas fontes de luz síncrotron ou conversão de antigos aceleradores em fontes (Petroff, 2017).

Nessas fontes de segunda geração, assim como em outros aceleradores síncrotron, a luz síncrotron é produzida quando a trajetória do feixe de elétrons é curvada por campos magnéticos produzidos em ímãs de dipolos. Ímãs de dipolos são usados para criar um campo magnético homogêneo durante uma certa distância. No entanto, todo o conjunto de ímãs da máquina, chamada de rede magnética, é projetado para produzir a maior quantidade e melhor qualidade de radiação síncrotron possível.

Com o aumento da qualidade das fontes de luz síncrotron, aumentou também a quantidade de usuários de diversas áreas do conhecimento como o número de técnicas experimentais disponíveis. Dessa maneira, tornou-se evidente a significância de aprimorar fontes de luz síncrotron, visando uma luminosidade progressivamente mais intensa.

3.2.3 Terceira Geração

A terceira geração de fontes de luz síncrotron foi caracterizada não só pelo avanço nos projetos dos aceleradores de partículas, como também por ser otimizada para o uso dos chamados dispositivos de inserção. Dispositivos de inserção são equipamentos que provocam oscilações na trajetória do feixe de elétrons produzida pelo campo magnético de uma sucessão de polos magnéticos alternados (LNLS, 2019). A luz síncrotron, assim produzida, é muito mais brilhante que a produzida nos ímãs dipolos da rede magnética.

O UVX, que estava localizado em Campinas/SP, foi a primeira fonte de luz síncrotron no Hemisfério Sul. Foi projetado como um síncrotron de terceira geração e inaugurado em 1997. Essa fonte foi desativada devido a nova fonte de luz síncrotron brasileira, de quarta geração, o Sirius (Petroff, 2017).

3.2.4 Quarta Geração

Desenvolvimentos tecnológicos recentes permitiram a definição de uma quarta geração de fontes de luz síncrotron, baseadas em anéis de armazenamento, com máquinas capazes de atingir emissões de altas energias por meio de desenhos inovadores da rede magnética, responsável pela trajetória do feixe de elétrons.

Nessa nova geração, duas fontes já estão em operação: MAX-IV, na Suécia e o Sirius, no Brasil. Ainda, outras fontes ao redor do mundo já estão planejando aprimoramentos como: ESRF-II, em Grenoble, França; APS-U, em Argonne, EUA; SPring8-II, em Koutu, Japão (Petroff, 2017).

3.3 Como acontece a produção da luz síncrotron?

Ao aquecer um metal a vácuo, aproximadamente a 2000 °C, os elétrons são extraídos e, imediatamente, acelerados até atingirem a energia aproximada de 90 mil eletronsvolts (90 keV) (Andrade, Neto, Lemaire, Cruz, 2013). Esses elétrons entram num acelerador linear, conhecido como Linac, capaz de acelerar o elétron até a energia de 100 milhões de eletronsvolts (100 MeV). Do Linac, os elétrons vão para o anel de aceleração (booster ring), onde ficam girando até atingirem a energia máxima projetada para a máquina.

Depois disso, são transferidos para um anel externo, conhecido como anel de armazenamento (storage ring). Nesse anel, o feixe de elétrons é capaz de ficar circulando durante mais de 20 horas, dependendo da máquina. Em volta dos dois anéis, que ficam permanentemente em alto vácuo, diferentes tipos de eletroímãs e lentes magnéticas são dispostos para providenciar o movimento circular e concentrar o feixe eletrônico. Em alguns pontos do anel acelerador são colocados sistemas aceleradores de radiofrequência.

Para a realização dos experimentos, laboratórios específicos ou estações de análise são montados em diferentes pontos em torno do anel de armazenamento. Cada laboratório tem os equipamentos adequados aos tipos de experimentos que realizam, mas todos têm um monocromador no ponto de extração da luz síncrotron para escolher o comprimento de onda apropriado para seus experimentos (Santos, 2013).

3.4 Histórico da luz síncrotron no Brasil

Os primeiros debates sobre a construção de uma fonte de luz síncrotron no Brasil ocorreram em 1981. Inicialmente foi proposto para ser construído como parte do Centro

Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF). Pioneiro da luz síncrotron no Brasil, Antonio Ricardo Droher Rodrigues (1951 – 2020), físico brasileiro, cursou doutorado na Universidade de King's College, em Londres, onde estudou a luz síncrotron, tendo como orientador Michael Hart, o inventor do interferômetro de raios-X (Izique, 2020), sendo responsável pelo projeto e construção dos aceleradores dos dois síncrotrons brasileiros: o UVX e o seu sucessor, o Sirius.

Ricardo Rodrigues esteve a frente do Projeto de Radiação Síncrotron desde o começo. Como consequência desse projeto, foi criado o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), instalado em Campinas a partir de 1987. Sua equipe projetou, construiu e operou uma fonte de luz síncrotron, equipamento que até então existia apenas em países desenvolvidos (Izique, 2020).

A escassez de recursos financeiros culminou, no entanto, com o adiamento de sua instalação. Em 1985, uma pequena equipe de engenheiros e físicos foram enviados ao Stanford Synchrotron Radiation Laboratory (SSRL) na China. Lá, prepararam o primeiro projeto conceitual para um anel que operaria na energia de 2 GeV. Este projeto serviu de base para as discussões que, em 1986, levaram o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) à decisão de criar o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) (CNPEM, 2020).

A cidade de Campinas, no estado de São Paulo, foi escolhida para sediar o LNLS. A cidade é sede da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), um dos principais centros de pesquisa do país. Possuindo várias indústrias, a cidade constitui-se hoje no segundo maior centro de pesquisa tecnológica do Brasil (Brum; Meneghini, 2002).

Desde o início dos debates sobre a construção de um anel síncrotron, tinha-se como objetivo desenvolver um grande equipamento que permitisse promover a pesquisa experimental no Brasil em um conceito de laboratório nacional, aberto e multidisciplinar.

O projeto conceitual do LNLS pode ser resumido em uma estratégia que envolve três ideias básicas propostas nos primeiros anos do projeto e válidas até hoje:

“Um grande projeto de engenharia, desafiador, que permitisse atrair uma massa crítica de jovens pesquisadores e engenheiros que seriam treinados nas tecnologias-chave, acelerando o desenvolvimento desses campos no país; a construção de uma instalação experimental que oferecesse condições no estado da arte para grande número de pesquisadores, de diferentes áreas, em pesquisa básica e aplicada; e a introdução do conceito de laboratório nacional, com acesso aberto às instalações a serem utilizadas, sobretudo por pesquisadores de outras instituições, com produção de resultados científicos de alta qualidade” (LNLS, 2019).

3.4.1 Construção da primeira fonte de luz síncrotron no Brasil

A equipe que construiu o LNLS começou a ser formada em 1986, Liderada pelo diretor do LNLS, Cylon Gonçalves da Silva e pelo diretor técnico, Ricardo Rodrigues, responsável pelo projeto de Engenharia da máquina, e pelo diretor científico Aldo Craievich, responsável pela mobilização da comunidade científica e formação dos primeiros usuários (Brum; Meneghini, 2002).

Havia, na época, pouca experiência na Física e Engenharia de aceleradores. Foi necessário adotar uma estratégia para a formação técnica da equipe (CNPEM, 2015). Essa opção, oposta a de enviar membros da equipe ao exterior para o treinamento, possibilitou adquirir-se a experiência e aplicá-la de imediato no próprio ambiente de trabalho. Parte do pessoal técnico tinha sido enviada a laboratórios similares no mundo, por um curto período. Foram trazidos consultores do exterior para revisar o andamento do projeto.

Essa sistemática possibilitou formar uma equipe para trabalhar com a flexibilidade necessária para fazer as escolhas adequadas ao contexto e restrições orçamentárias. Ademais, o processo de formação dessa equipe contribuiu de maneira significativa para o desenvolvimento de uma cultura de laboratório nacional no LNLS (Brum; Meneghini, 2002).

Em 1986, em um espaço provisório, dedicou suas ações no laboratório, contratando o pessoal técnico, planejando as instalações e adquirindo o equipamento básico. *Com a equipe técnica e administrativa ocupando as instalações provisórias.* Já em 1987 a equipe começou o desenvolvimento dos equipamentos. O projeto inicial, preparado em 1985, consistia em um anel de armazenamento de elétrons de alto brilho com energia total de injeção. A injeção seria feita por um acelerador linear de 100-200 MeV seguido de um síncrotron injetor.

Devido às limitações de espaço nos locais provisórios, optou-se por construir um Linac menor, de 50 MeV, deixando para a construção e instalação completa do Linac no local definitivo. Essa etapa levou dois anos e meio e em dezembro de 1989 o feixe foi observado.

Em 1989 o projeto original foi revisado. Desde o princípio, sabia-se que antes de iniciar a construção do anel essa revisão seria necessária, procurando ajustar-se às evoluções tecnológicas das máquinas. O Projeto possuía poucas seções retas, onde são instalados os dispositivos de inserção (onduladores e wigglers), os quais permitem obter alta intensidade de fluxo ou raios X duros (mais energéticos). A tecnologia desses dispositivos só foi aperfeiçoada ao longo dos anos 80.

A instabilidade econômica e política do país no período 1991-1993 exigiu razoável esforço da equipe, que continuou seus trabalhos, desenvolvendo protótipos de vários componentes do anel de armazenamento e instrumentação científica (CNPEM, 2015). Em 1992, foi construída a primeira linha de luz, na região de frequência do Ultra-violeta (UV), que foi instalada no Center for Advanced Microstructures and Devices (CAMD) of Louisiana State University, em Baton Rouge (EUA). Ela propicia também aos pesquisadores e técnicos adquirir experiência na instalação, comissionamento e funcionamento da luz.

Em 1993, o financiamento do laboratório retoma seu curso normal, tornando possível o desenvolvimento e a construção do LNLS no ritmo desejado. Em outubro de 1995, a equipe começou a transferir-se para a sede definitiva, na região do II Polo de Alta Tecnologia de Campinas, próxima à Unicamp, que fora cedida em 1990, pelo Estado de São Paulo. Iniciou-se a montagem da fonte de luz síncrotron. O injetor Linac de 120 MeV foi montado no túnel iniciando sua operação, em 22 de dezembro de 1995. Em 22 de maio de 1996 a primeira volta dos elétrons no anel de armazenamento foi observada e em 30 de maio obteve-se o primeiro feixe armazenado. Finalmente, em maio de 1997, o LNLS foi inaugurado com a corrente acumulada atingindo 120 mA (acima dos 100 mA projetados) (SBPMat, 2015).

Em paralelo com a construção do laboratório, o LNLS desenvolveu um ativo trabalho de preparação da comunidade científica, organizando cursos e oficinas que envolviam técnicas e aplicações de luz síncrotron. As Reuniões Anuais de Usuários (RAU) foram iniciadas em 1990. Essas reuniões adquirem grande importância, permitindo a divulgação de trabalhos científicos que utilizam a luz síncrotron de outros laboratórios no mundo e ampla discussão das técnicas e procedimentos a serem desenvolvidos no LNLS. Como consequência desse esforço, já no início de sua operação, o LNLS possuía um número significativo de usuários. (CNPEM, 2015).

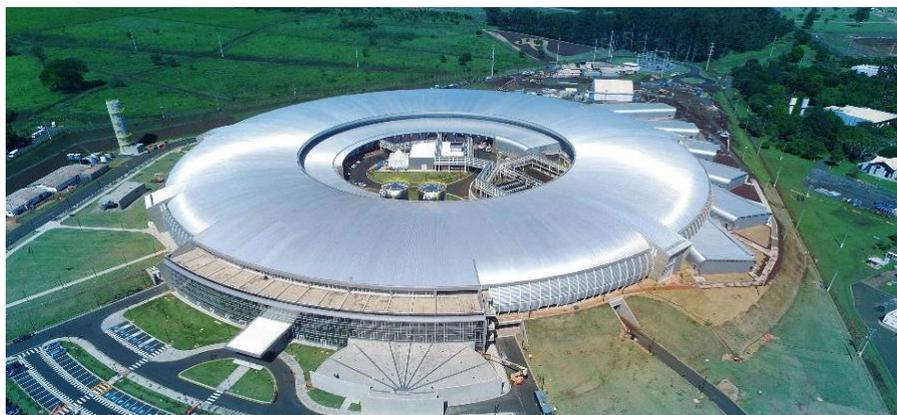
3.4.2 Desenvolvimento dos componentes para a construção do Sirius

Projetado pelas equipes do LNLS, o Sirius (Figura 4) substituiu o UVX, a primeira fonte de luz síncrotron no hemisfério sul, construído na década de 1990. Aproximadamente 85% dos componentes do Sirius foram desenvolvidos nas oficinas do LNLS ou projetados e produzidos por empresas brasileiras de alta tecnologia (Zorzetto, 2018).

Segundo Marques (2015), a intenção não foi apenas a de ajudar a desenvolver o Sirius, mas permitir que empresas inovadoras do estado de São Paulo e suas equipes de pesquisa ampliassem seu leque de produtos tecnológicos, criando uma cadeia de fornecedores em

condição de atuar no mercado global. José Roque, físico brasileiro, diretor-geral do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais e chefe do projeto de construção do Sirius, lembra que o envolvimento de empresas na construção de grandes instalações científicas é prática comum na Europa e nos Estados Unidos e se constituiu em um grande passo para que outras empresas possam investir ainda mais em projetos científicos no Brasil (Marques, 2015).

Figura 4 - Acelerador de partícula em Campinas/SP.



Fonte: CNPEM, 2020.

3.4.3 Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM)

O Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) é uma organização social, privada, sem fins lucrativos e supervisionada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Localizado em Campinas-SP, possui quatro laboratórios referências mundiais e abertos à comunidade científica e empresarial: o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), o Laboratório Nacional de Biociências (LNBio), o Laboratório Nacional de Biorrenováveis (LNBR) e o Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano). Esses laboratórios são independentes entre si e, ao mesmo tempo, trabalham de forma colaborativa.

3.4.3.1 Laboratório Nacional da Luz Síncrotron (LNLS)

Desde 1997, o LNLS opera e hospeda instalações multiusuários, acessíveis à comunidade científica brasileira e internacional. O laboratório disponibiliza um instrumental científico sofisticado para a condução de inúmeras pesquisas acadêmicas e industriais, envolvendo milhares de cientistas (LNLS, 2019). Além disso, o LNLS é responsável pela construção e operação do Sirius, um acelerador brasileiro de 4ª geração, considerado uma das máquinas mais avançadas do mundo para a análise de diversos tipos de materiais, tanto orgânicos quanto inorgânicos (Savignano, 2016).

3.4.3.2 Laboratório Nacional de Biociências (LNBio)

O Laboratório Nacional de Biociências (LNBio) dedica-se à pesquisa e inovação nas áreas de biotecnologia e à descoberta e desenvolvimento de fármacos. O laboratório concentra competências, equipamentos de última geração e um time de pesquisadores de classe mundial voltados à realização de estudos multidisciplinares nas áreas de biologia estrutural, proteômica, genômica, metabolômica, bioensaios, desenvolvimento de organismos geneticamente modificados, dentre outros (CNPEM, 2020).

3.4.3.3 Laboratório Nacional de Biorrenováveis (LNBR)

O Laboratório Nacional de Biorrenováveis (LNBR) desenvolve pesquisa e inovação de nível internacional na área de biomassa voltada à produção de energia, em especial do etanol de cana-de-açúcar. O laboratório possui um ambiente singular no País para o escalonamento de tecnologias, visando a transferência de processos da bancada científica para o setor produtivo, no qual se destaca a Planta Piloto para Desenvolvimento de Processos (CNPEM, 2020).

3.4.3.4 Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano)

O Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano) busca, por meio de pesquisa interna, explorar oportunidades oferecidas pela nanotecnologia para atender as necessidades da agricultura, indústria e serviços, em âmbito regional, nacional e internacional. O laboratório atua, também, na criação e desenvolvimento de produtos e processos sustentáveis, por meio de seus cinco laboratórios: Laboratório de Microscopia Eletrônica, de Microfabricação, de Ciência de Superfícies, de Materiais Nanoestruturados e de Caracterização e Processamento de Metais (CNPEM, 2020).

3.4.4 A Estrutura do Sirius

Instalado no campus do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) em Campinas, interior de São Paulo, o Sirius, representado na Figura 5, recebe inspiração de sua denominação na estrela mais luminosa da constelação de Canis Major. Esta constelação pertence ao hemisfério celestial sul (Pacheco et al., 2013), ocupa um prédio em forma de donut de 68 mil metros quadrados, com temperatura controlada e erguidos sobre uma espessa base composta de um concreto especial capaz de absorver vibrações do solo (Zorzetto, 2020).

Figura 5 - Estrutura interna do Sirius em Campinas/SP.

UM TIPO ESPECIAL DE LUZ

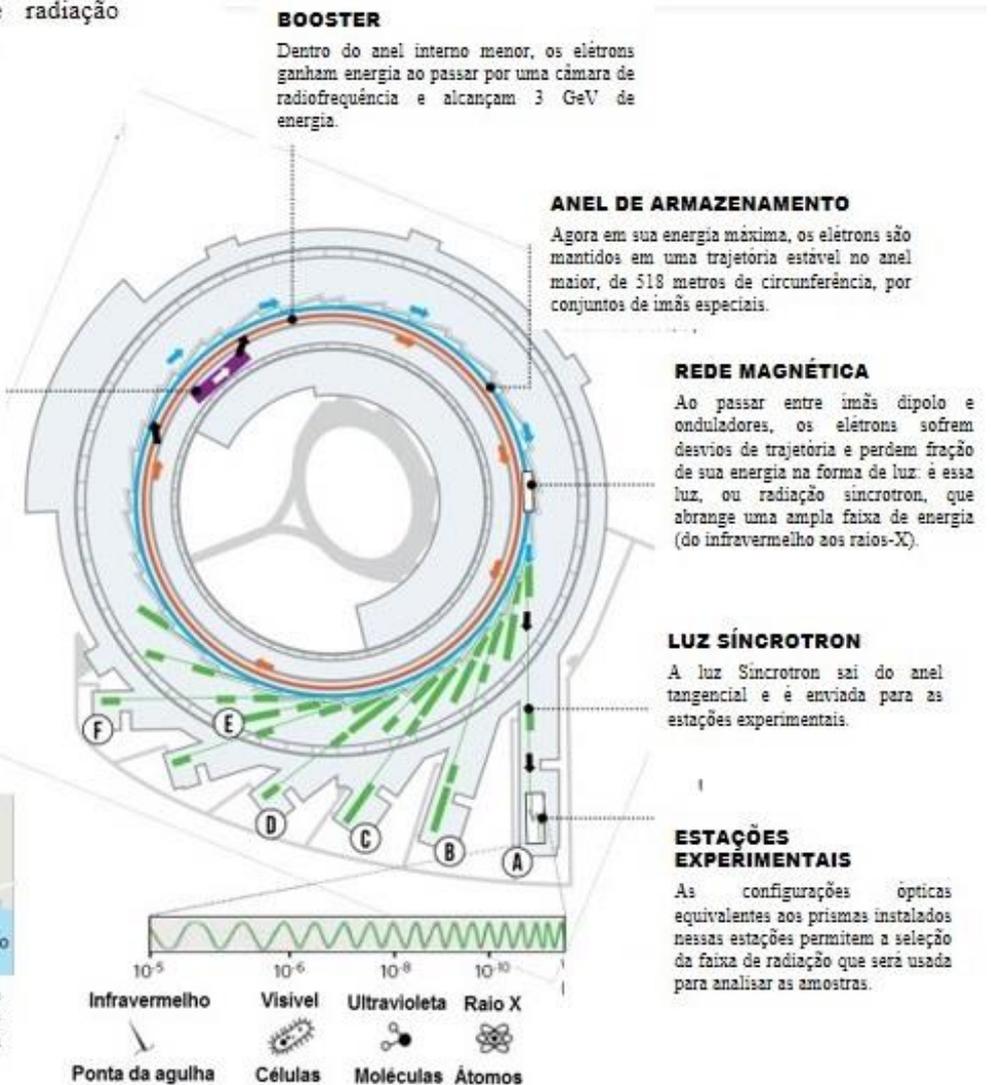
Sirius será uma das mais brilhantes fontes de radiação síncrotron do mundo.

1 ACELERADOR LINEAR

Elétrons liberado por um filamento de metal aquecido são impulsionados em um acelerador linear de 32 metros de comprimento para quase a velocidade da luz, com 0,15 giga-elétron volts (GeV) de energia e injetados no anel interno.



O Sirius está localizado aproximadamente a 15 quilômetros ao norte da cidade de Campinas.



Fonte: LNLS, 2018.

Em seu interior, gera e mantém circulando em um anel de 518 metros de circunferência, a uma velocidade muito próxima a da luz no vácuo ($3 \cdot 10^8$ m/s), um feixe de partículas de carga elétrica negativa (elétrons) com espessura milhares de vezes inferior a de um fio de cabelo.

Poderosos ímãs acoplados ao anel forçam as partículas a sofrer pequenos desvios até completar o círculo. A cada alteração na trajetória, os elétrons perdem parte de sua energia na forma de uma luz especial: a radiação síncrotron (em especial na faixa dos raios X), que penetra até mesmo nos materiais mais densos, como rochas, permitindo estudar sua estrutura na escala dos átomos.

A seguir, iremos explicar alguns dos elementos que compõem o Sirius e a sua função, para que a luz síncrotron possa ser gerada.

3.4.4.1 Acelerador Linear (Linac)

Inicialmente, um feixe de elétrons é emitido a partir de um cátodo e é acelerado por campos eletrostáticos no chamado canhão de elétrons. A seguir, os elétrons são injetados no acelerador linear (Figura 6), onde continuam a ser acelerados e, nele existem detectores que registram o fato. Ao final, com velocidades próximas à da luz no vácuo, os elétrons são conduzidos ao acelerador injetor, por meio de uma linha de transporte composta por eletroímãs. Para que essas velocidades cheguem próxima a velocidade da luz no vácuo, as partículas sofrem a ação de forças eletromagnéticas.

Figura 6 - Acelerador linear do Sirius.



Fonte: LNLS, 2020.

3.4.4.2 Acelerador Injetor (Booster)

O Acelerador Injetor (Figura 7), ou Booster, é um acelerador circular que tem a função de aumentar a energia dos elétrons desde o nível de energia do Linac até a energia de operação do Anel de Armazenamento (CNPEM, 2020). Ao entrarem no Booster, os elétrons são acelerados por cavidades de radiofrequência e, quando atingem seu nível de energia final, são injetados no Anel de Armazenamento por meio de outra linha de transporte.

Figura 7 - Acelerador Injetor do Sirius.

Fonte: CNPEM, 2020.

3.4.4.3 Anéis de armazenamento de elétrons

Um anel de armazenamento de elétrons, como fonte de luz síncrotron, consiste de duas estruturas principais: um sistema de injeção e o anel principal, em torno do qual são instaladas as linhas de luz. O sistema de injeção, como representado na Figura 8, é composto por um acelerador linear, podendo incluir ou não um anel injetor, chamado booster (CNPEM, 2014).

Figura 8 - Esquema genérico de uma fonte de luz síncrotron.

Fonte: CNPEM, 2020.

Elétrons são retirados de um catodo para o acelerador linear, onde adquirem uma quantidade de energia, sendo então inseridos no Booster, onde são novamente acelerados, para enfim entrarem no anel principal, podendo ainda ser acelerados novamente ou apenas armazenados em alta energia. Para evitar a perda dos elétrons pelo espalhamento, por átomos e moléculas, eles devem ser confinados no interior de uma câmara em ultra alto vácuo.

No anel principal, os elétrons são mantidos e guiados por forças de origem eletromagnética. Geradores elétricos, que utilizam ímãs para a produção de impulsos periódicos de corrente alternada são dispostos ao longo do anel definindo a órbita ideal, em torno da qual os elétrons se moverão em trajetórias estáveis e periódicas. Essas trajetórias são caminhos com geometrias semelhantes a um círculo, embora não sejam curvos em todos os trechos (CNPEM, 2014).

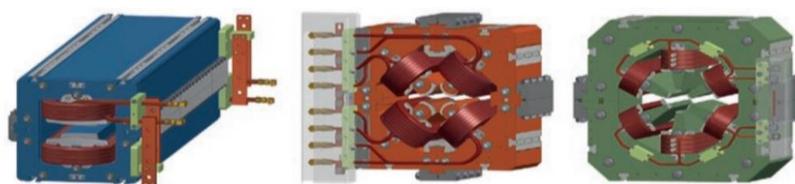
O campo magnético guia define uma órbita ideal, fechada, na qual um elétron se moverá por um tempo indefinido. O campo guia possui propriedades fiscalizadoras e faz com que os elétrons realizem oscilações em torno da órbita fechada.

3.4.4.4 Rede Magnética

A Rede Magnética é um conjunto de ímãs responsáveis por defletir e focalizar, com base no campo magnético, o feixe de elétrons, garantindo a sua estabilidade e definindo o caminho pelo qual transitam. A rede magnética é uma combinação sistemática projetada de ímãs dipolos, responsável por curvar a trajetória dos elétrons, quadrupolos e sextupolos que têm como função focalizar e corrigir a trajetória do feixe de elétrons (Geraldes, 2013).

Os dipolos são responsáveis pela deflexão da trajetória dos elétrons; os quadrupolos responsáveis pela focalização do feixe, e os sextupolos por corrigir a variação cromática resultante da ação dos quadrupolos sobre um feixe com dispersão de energia finita, como podemos ver na Figura 9. De acordo com CNPEM (2020), além desses, em fontes de alto brilho, como o Sirius, as redes magnéticas são projetadas para acomodar outros tipos de ímãs, como os dispositivos de inserção, destinados a ampliar o perfil de emissão da máquina (Rauen, 2016).

Figura 9 - Dipolos, quadrupolos e sextupolos.



Fonte: CNPEM, 2020.

3.4.4.5 Linhas de Luz

O projeto para construção das treze primeiras Linhas de Luz previstas para o Sirius encontra-se em fase de desenvolvimento técnico. Essas Linhas permitirão que sejam desenvolvidos estudos jamais feitos no Brasil, em praticamente todas as áreas do conhecimento, sejam eles de interesse acadêmico ou industrial.

Em uma Fonte de Luz Síncrotron, as linhas de luz são as estações experimentais onde os materiais são analisados. Elas são como microscópios complexos que tem como função dá boas condições e focalização à radiação síncrotron, para que ela ilumine as amostras dos materiais em estudo e permita a observação de seus aspectos microscópicos.

O Quadro 2 apresenta as linhas de luz do Sirius, suas técnicas principais e algumas informações complementares. Cada linha de luz do Sirius recebeu nomes inspirados na fauna, na flora ou no folclore brasileiro.

Quadro 2 - Linhas de Luz do Sirius.

Linha de Luz	Inspiração	Técnica Principal	Algumas Informações
CARNAÚBA (<i>Coherent X-ray NAnoprobe BeAmline</i>)	Nome inspirado em uma palmeira, árvore símbolo do estado do Ceará e Piauí (Ferreira, 1986).	Nanosopia de Raios X	É a linha de luz mais longa do Sirius, com 143 metros de distância entre a fonte de luz e o ambiente de amostra, o que permite produzir uma alta demagnificação óptica e atingir resoluções espaciais na ordem dos nanômetros.
CATERETÊ	Refere-se a uma dança coletiva e popular do folclore brasileiro (Aidar, 2010).	Espalhamento Coerente de Raios X	Oferece capacidades únicas em experimentos de imagem e dinâmica de materiais biológicos e da matéria condensada, com foco particular na aplicação de técnicas espalhamento e difração de raios X coerentes.
CEDRO (<i>Circular DichROism Beamline</i>)	Árvore encontrada em todos os biomas brasileiros (Angeli, 2005).	Dicroísmo Circular	É utilizada para a análise estrutural de moléculas quirais, incluindo biomoléculas como proteínas, ácidos nucleicos e carboidratos.
EMA (<i>Extreme Condition Methods of Analysis</i>)	Considerada a maior ave brasileira (Ferreira, 1986).	Espectroscopia e Difração de Raios X em Condições Extremas	É dedicada a fazer a diferença no estudo de materiais onde um alto brilho é essencial, como é o caso do estudo de materiais em condições termodinâmicas extremas (pressão, temperatura e campo magnético).
IMBUIA (<i>Infrared Multiscale Beamline for Ultra- resolved Imaging Applications</i>)	Árvore nativa do Sul do Brasil (Carvalho, 2007).	Micro e Nanoespectroscopia de Infravermelho	Permite a análise composicional de praticamente qualquer material e são essenciais para a realização de pesquisa de fronteira em novos materiais, com especial ênfase em materiais orgânicos biológicos e sintéticos.
IPÊ	No ano de 1978, a lei 6.507 oficializou a flor ipê como a flor	Espalhamento Inelástico Ressonante de	aplicadas ao estudo da composição química, estrutura eletrônica e

<i>(Inelastic scattering PhotoElectron spectroscopy)</i>	nacional do Brasil (Decora, 2019).	Raios X e Espectroscopia de Fotoelétrons	excitações elementares de em sólidos e sistemas moleculares.
JATOBÁ	Árvore encontrada na Amazônia, na Mata Atlântica, no Pantanal e no Cerrado. Nome que vem do tupi e quer dizer “árvore com frutos duros” (Viana, 2012).	Espalhamento Total de Raios X e Análise de PDF	Produz feixe de raios X de alta energia e alto fluxo de fótons, focalizado em dimensões micrométricas e é dedicada ao estudo de uma ampla gama de materiais utilizando a técnica de espalhamento total de raios X.
MANACÁ <i>(Macromolecular Micro and CrystAllography)</i>	Árvore originária do Brasil, encontrada na Mata Atlântica e no Cerrado (Decora, 2019).	Micro e Nanotomografia de Raios X	Dedicada aos estudos das estruturas tridimensionais de macromoléculas e moléculas pequenas. Possibilita o estudo de estruturas como de vírus, complexos de proteína-proteína, proteína-ligante e produtos naturais.
MOGNO	Árvore nativa da Amazônia e da região intertropical da América do Sul e Central, mais comum no sul do Pará (Carvalho, 2007).	Micro e Nanotomografia de Raios X	Dedicada à aquisição de imagens tridimensionais de diferentes materiais, em multiescala, de maneira rápida e não invasiva.
PAINEIRA <i>(Powder X ray Diffraction)</i>	Árvore alta, nativa do Brasil e que se tira a lã branca (Dornelas, 2021).	Difração de Raios X em Policristais	A linha visa, principalmente, a caracterização estrutural de materiais na forma de pó, como cerâmicas, fármacos, minerais, catalisadores, etc.
QUATI <i>(Quick X-Ray Absorption Spectroscopy for time and space resolved experiments)</i>	Mamífero da família do guaxinim. São encontrados em quase todo o território brasileiro (Cepeda, 2017).	Espectroscopia de Raios X com Resolução Temporal	Dedicada à experimentos de espectroscopia de absorção de raios-X de alta qualidade, com resolução temporal e espacial na escala de milissegundos e em condições in situ.
SABIÁ <i>(Soft x-ray ABSorption spectroscopy and ImAging)</i>	Ave comum na América do Sul, símbolo do estado de São Paulo, é encontrado em todo território brasileiro (Luiz, 2009).	Espectroscopia de Fotoemissão e Absorção de Raios X Moles de Alto Fluxo	As principais análises possíveis nesta linha são espectroscopia de absorção de raios X (XAS) e microscopia de fotoemissão de elétrons (PEEM).
SAPÊ <i>(Angle-resolved PhotoEmission)</i>	Planta nativa do Brasil e pode ser encontrada principalmente nas regiões Norte e Nordeste do país (Ferreira, 1986).	Espectroscopia de Fotoemissão Resolvida em Ângulo	permitem a análise da estrutura eletrônica de materiais cristalinos e é uma ferramenta essencial para estudo de fronteira de novos materiais, com ênfase especial em materiais topológicos e materiais 2D.

SAPUCAIA	Árvore brasileira que vai do Ceará ao Rio de Janeiro, com predominância nos estados do Espírito Santo e na Bahia (Ferreira, 1986).	Espalhamento de Raios X a Baixos Ângulos	Utiliza técnica de caracterização estrutural usada para o estudo de propriedades morfológicas (forma, tamanho e organização espacial) e dinâmicas de objetos nano e microestruturados.
----------	--	--	--

Fonte: LNLS, 2019.

3.4.4.6 *Estação Experimental*

Parte da Linha de Luz onde as amostras são propriamente analisadas. Alguns ambientes são isolados, possuindo proteção radiológica e controle preciso de temperatura, umidade e pressão; outros são abertos, permitindo que o experimento seja visível por qualquer pessoa que passe ao lado. É a parte mais dinâmica de uma Linha de Luz, pois a cada novo experimento é definida condições específicas para o condicionamento das amostras (que podem estar em diferentes estados físicos) e para os sistemas de detecção, visando a observação de diferentes aspectos da interação da luz síncrotron com a matéria (CNPEM, 2020).

3.4.5 *Programas de Educação com aceleradores de partículas*

A seguir, destacamos algumas das principais instalações que trabalham com a luz síncrotron em programas de educação:

3.4.5.1 *Large Hadron Collider (LHC)*

O Grande Colisor de Hádrons – LHC, representado na Figura 10, é o maior acelerador de partículas do mundo, localizado na Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (CERN). Fundado em 1954, está localizado na fronteira entre a Suíça e a França, perto de Genebra. Os países membros do CERN são fundamentais para a pesquisa realizada na instituição, que incluem Alemanha, Áustria, Bélgica, Bulgária, Chipre, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Estônia, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Itália, Letônia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Baixos, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Tcheca, Romênia, Suécia e Suíça.

Seu principal objetivo é obter dados sobre colisões de feixes de partículas, tanto de prótons a uma energia de 7 TeV (Tera eletrovolts) por partícula, ou núcleos de chumbo a energia de 574 TeV por núcleo. O laboratório localiza-se em um túnel de 27 km de circunferência, com 80 metros na parte mais alta e 100 metros na parte mais baixa, do nível

do solo na fronteira franco-suíça, próximo a Genebra, Suíça (Coutinho, 2019).

O LHC começou a ser construído em 1998 com a colaboração de mais de 100 países, ao custo de aproximadamente 7,5 bilhões de Euros e está funcionando desde 10 de Setembro de 2008.

Figura 10 - Grande Colisor de Hádrons (LHC).



Fonte: Apolo, 2008.

O LHC conta com um espaço interno de exposição onde os visitantes tem total informação, não só do histórico do acelerador como também das pesquisas recentes que vem sendo desenvolvidas (Caires, 2019). Os alunos do Ensino Médio tem a oportunidade de ouvir as pessoas que construíram o acelerador e ainda podendo fazer pequenas operações nas máquinas, aprendendo sobre os desafios técnicos e descobrindo como a Engenharia pode criar soluções que evoluem para tecnologias inovadoras para o benefício de todos.

É interessante destacar que o LHC conta com quatro áreas da exposição interna que oportunizam exposições especialmente projetadas para visitantes com deficiência visual. O material de áudio que acompanha pode ser baixado por meio de códigos QR. Todos os espaços são acessíveis a cadeiras de rodas e assentos móveis estão disponíveis mediante solicitação e de forma gratuita.

Também destacamos um espaço denominado de *Globo de Ciência e Inovação* do LHC, ilustrado na Figura 11 que foi doado pela Confederação Suíça e é usado como ferramenta de divulgação e comunicação científica.

Figura 11 - Globo de Ciência e Inovação do LHC.



Fonte: LHC, 2020.

O Globo recebe uma variedade de eventos públicos, como conferências, painéis de discussão, exibição de filmes e apresentações artísticas. Recebe seus convidados em um ambiente único, ao mesmo tempo que apoia uma ideia humanista que promove a Ciência e a Educação.

Outro evento que destacamos é o International Masterclasses – Hands on in Particle Physics. Um evento que possui a proposta de divulgação científica do European Organization for Nuclear Research (CERN) e Large Hadron Collider (LHC) em parceria com universidades e centros de pesquisas de diversos países. É um evento anual com duração de dois dias no qual alunos e professores do Ensino Médio e do Ensino Superior tem a oportunidade de conhecer trabalhos científicos e discutir conceitos da Física de Partículas Elementares com pesquisadores da área de Física de altas energias e da área de Ensino de Ciências.

Também é importante destacar o programa de formação de professores, que tem duração de uma semana e é realizado nas línguas nacionais dos Estados Membros do CERN. O programa conta com 23 países membros, 10 associados e 9 colaboradores (incluindo o Brasil). Está aberto a professores de outros países que falam a mesma língua. Ao participar dessa iniciativa, os educadores têm a chance de mergulhar no mundo da Física de Partículas, colaborando diretamente com cientistas renomados (Gianotti, 2020).

De acordo com a autora, durante o programa, os professores têm acesso a palestras, workshops e experiências práticas, proporcionando uma compreensão mais profunda dos experimentos conduzidos no CERN. Além disso, a interação com pesquisadores e a imersão na atmosfera colaborativa do laboratório estimulam a troca de conhecimento e práticas pedagógicas inovadoras. Essa experiência não apenas amplia o horizonte científico dos

educadores, mas também os capacita a transmitir aos seus alunos uma visão mais atualizada e envolvente da física moderna.

Costa et al. (2021) menciona que o CERN fornece gratuitamente todo o suporte científico, administrativo e técnico para os programas. Isto inclui o conteúdo científico e o fornecimento de facilitadores, palestrantes e guias de línguas nacionais. Contudo, os custos de viagem, alojamento e refeições têm de ser cobertos individualmente pelos professores ou por fontes oficiais, por exemplo, fundações educativas ou autoridades nacionais.

3.4.5.2 *Canadian Light Source*

A Fonte de Luz Canadense – CLS, mostrado na Figura 12 é a única instalação de luz síncrotron do Canadá, e está localizada na Universidade de Saskatchewan, na cidade de Saskatoon que fica no sul do país. O CLS tem um anel de armazenamento de terceira geração (2,9 GeV). Foi inaugurado em 2004, após 30 anos de campanha da comunidade científica canadense para a construção de um síncrotron no país.

A pesquisa no CLS abrange pesquisas sobre vírus até supercondutores e tem sido reconhecida por sua ligação com a indústria e seus programas de Educação escolar (Micklavzina, 2014). Em seu programa de formação e divulgação científica – "os alunos nas linhas de luz" – que é financiado pela NSERC promoscience (Conselho de Pesquisa em Engenharia do Canadá), permite aos estudantes do Ensino Médio a experiência de conhecer o trabalho de um cientista, além de ter a oportunidade de utilizar as linhas de luz do CLS. "O objetivo para os alunos," de acordo com a coordenadora educativa e de divulgação do CLS, Tracy Walker, "é fazer uma autêntica investigação científica que é diferente dos exemplos nos livros didáticos" (Micklavzina, 2014).

Figura 12 - Visão aérea do prédio da fonte de luz canadense.



Fonte: CLS, 2021.

Em 2012, o CLS foi premiado com o Premio de Educação e Comunicação da Sociedade Nuclear Canadense, em reconhecimento ao seu compromisso com a comunidade, a divulgação, e a sensibilização do público sobre Ciência Síncrotron em programas educacionais.

3.4.5.3 FERMILAB

Fermi National Accelerator Laboratory é um laboratório especializado em física de partículas de alta energia do Departamento de Energia dos Estados Unidos localizado em Batavia, próximo a Chicago, ilustrado na Figura 13. Foi fundado em 1967 com o nome de National Accelerator Laboratory e, em 1974, foi renomeado em homenagem a Enrico Fermi, um dos primeiros físicos a estudar o fenômeno da fissão nuclear (Fermilab, 2019).

Figura 13 - Vista aérea do FERMILAB.



Fonte: FERMILAB, 2014.

Considerado o segundo maior acelerador de partículas do mundo, depois do Grande Colisor de Hádrons (LHC), o primeiro acelerador do laboratório produziu prótons em abril de 1969 e estava lançando partículas subatômicas em uma câmara de bolhas de 76 centímetros preenchida com Hidrogênio líquido em 1972. Essas câmaras rastreiam trilhas de bolhas deixadas por partículas em alta velocidade. O laboratório começou a atualizar para um detector de câmara de 4,5 metros em 1973, o que ajudou no estudo de neutrinos e mostrou evidências para os quarks superiores e inferiores (Peralta 2008).

O FERMILAB conta com um grande programa de educação e divulgação que destacaremos a seguir:

- Passeios de Escola Secundária – voltados para alunos do ensino médio (até 100 alunos por visita). Eles tem a oportunidade de ver todo o complexo do Fermilab, de conferir o centro de operações remotas, visualizar as áreas do acelerador e da sala de controle, de participar de uma sessão de pergunta e respostas com os cientistas e os engenheiros e recebem bastante materiais de apoio divulgação científica;
- Visitas Guiadas – O FERMILAB oferece uma variedade de programas turísticos para o público tanto individual como em grupo, principalmente aos domingos que duram 90 minutos. Também oferece um tour e uma sessão de perguntas e respostas após uma palestra e ainda disponibiliza uma versão da palestra, das perguntas e respostas em espanhol;
- Programa Saturday Morning Physics (SMP) é uma série gratuita de onze palestras e visitas que tem como objetivo de promover a compreensão e apreciação da Física Moderna entre os alunos do Ensino Médio. As palestras são destinadas a alunos do ensino médio sem nenhum conhecimento científico prévio.
- Aulas de Ciências para Crianças e Famílias - O FERMILAB também oferece aulas para crianças e famílias durante os meses de verão de junho, julho e agosto. Instrutores experientes dão aulas que abrangem uma variedade de tópicos de ciências e matemática;
- Programa STEM – Expo Carreira em Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática. É uma oportunidade para um diálogo de carreira profissional entre os estudantes do ensino médio, seus pais e os professores. Eles conhecem e conversam com especialistas em matemática, ciências, engenharia e tecnologia de uma ampla variedade de carreiras perguntando a especialistas sobre caminhos educacionais que levam a carreiras específicas, sobre tendências, salários, natureza do trabalho, conhecimentos e habilidades necessárias.
- Programa Summer Science – é uma série de palestras online, realizados por alunos bolsistas do laboratório, que cobre uma variedade de tópicos científicos seguidos por uma sessão de perguntas e respostas com o apresentador e a equipe do FERMILAB
- Programa workshops para educadores/professores – fornecem aos professores do ensino fundamental e médio atividades e estratégias comprovadas em sala de aula para ensinar tópicos desafiadores de uma forma envolvente. São oferecidas bolsas de apoio para ajudar os professores a participarem dos workshops ou para custear o transporte.
- Programa de Estágio - O Fermilab oferece uma variedade de programas de estágio para alunos do ensino médio, graduação e pós-graduação, professores do ensino médio e profissionais liberais. Trabalhando ao lado de nossos especialistas científicos, de engenharia, computação e operações, os estagiários apoiam e avançam na Física de

Partículas e na pesquisa de aceleradores. Oportunidades de estágio estão disponíveis para candidatos nacionais e internacionais.

3.4.5.4 European Synchrotron Radiation Facility (ESRF)

A ESRF, representado na Figura 14, é uma instalação de pesquisa conjunta situada em Grenoble, na França, e apoiada por 22 países (13 países membros: França, Alemanha, Itália, Reino Unido, Espanha, Suíça, Bélgica, Holanda, Dinamarca, Finlândia, Noruega, Suécia, Rússia e 9 países associados: Áustria, Portugal, Israel, Polônia, República Tcheca, Hungria, Eslováquia, Índia e África do Sul).

É uma das fontes mais intensas de luz gerada pelo síncrotron. Graças ao brilho e qualidade de seus raios-X, funciona como um “*supermicroscópio*” que “*filma*” a posição e o movimento dos átomos na matéria condensada e viva, e revela a estrutura da matéria em toda sua beleza e complexidade. Oferece oportunidades incomparáveis para cientistas na exploração de materiais e matéria viva em muitos campos: Química, Física de materiais, Arqueologia, Biologia estrutural, Aplicações médicas, Ciência da Informação e Nanotecnologias (ESRF, 2018).

Figura 14 - Instalação da ESRF em Grenoble – França.



Fonte: ESRF, 2018.

O ESRF apoia muitas iniciativas e eventos públicos que visam tornar a ciência sofisticada e compreensível para uma variedade de públicos, desde alunos do Ensino Médio até a Educação Infantil.

O ESRF oferece diferentes programas educacionais para alunos de todos os níveis no intuito de promover a Educação e a Divulgação Científica:

➤ Programa Synchotron School - é voltado para alunos do ensino médio e consiste em um programa de um dia de workshops experimentais e visitas ao local do ESRF. Esses dias de ciência prática e descoberta ajudam os alunos a entender melhor a construção de um projeto de pesquisa e a descobrir a diversidade das carreiras científicas em uma instalação internacional.

➤ A escola europeia HERCULES – com duração de cinco semanas, oferece a estudantes de pós-doutorado e cientistas seniores de universidades e laboratórios europeus e não europeus uma série de cursos especializados, palestras, aulas práticas, tutoriais e visitas a grandes instalações europeias.

➤ O programa anual conjunto ESRF / ILL para estudantes internacionais de verão em Raios-X e ciência de nêutrons - é um programa educacional de imersão de quatro semanas elaborado em torno de um projeto experimental. Inclui palestras introdutórias, cursos especializados e pesquisa prática que é voltado para alunos de graduação matriculados em uma universidade de um país membro ou país associado do ESRF.

Neste capítulo, trouxemos a Ciência da luz síncrotron, seu contexto histórico, como funciona um acelerador de partículas e a infraestrutura do acelerador Sirius. Também foram destacados os programas de Educação e Divulgação dos laboratórios e aceleradores em outros países.

4. DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

A compreensão pública da ciência é hoje considerada um dos valores fundamentais em sociedades democráticas (Rocha, 2012). O autor destaca a necessidade de incorporar a ciência e a tecnologia desenvolvidas especialistas na sociedade. Ele argumenta que, sendo uma das maiores conquistas da humanidade, a Ciência é essencial para o desenvolvimento cultural, e todos deveriam ser capazes de compreender, apreciar e discutir assuntos relacionados ao conhecimento científico. Infelizmente, no Brasil, esse engajamento não tem ocorrido de maneira efetiva.

A Ciência deixou de ser exclusividade de um grupo privilegiado para fazer parte da vida cotidiana do cidadão comum, que se informa sobre diversas questões, como o Aquecimento Global e os fenômenos naturais (Campos, 2015). Reduzir a distância entre a Ciência e a sociedade pode preparar os cidadãos para tomar decisões em áreas como Saúde, Segurança, Meio Ambiente e Política (Rocha, 2012).

Os avanços científicos revolucionaram o acesso ao conhecimento e as informações em todas as épocas, principalmente por meio da comunicação em massa, que simplificam e aceleram a divulgação dos estudos científicos (Albagli, 1996). No entanto, a DC, apesar de essencial, ainda enfrenta desafios na disseminação eficaz das informações e no acesso imediato da população aos benefícios das descobertas (Campos, 2015).

Além disso, Pechula (2007) afirma que os objetivos da Ciência não acompanham, exatamente, as tendências da pós-modernidade, permanecendo a propagação da lógica da descoberta, ao invés do esclarecimento de que a Ciência é um produto construído socialmente, sendo mutável, dinâmico e incompleto, assim como, a natureza de quem a cria. Bertolli Filho (2007), afirma que as obras divulgadoras da ciência não afloram em um vazio de significados, sendo, acima de tudo, expressões culturais que revelam as ramificações e complexidades da Ciência.

A DC envolve a utilização de recursos, técnicas e processos (veículos ou canais) para tornar as informações científicas acessíveis ao público que possui pouco ou nenhum conhecimento em um determinado assunto, desempenhando um papel crucial na democratização do conhecimento e na promoção da Alfabetização Científica (AC) (Bueno, 2010). Embora muitas vezes associada à imprensa, a DC vai além dos meios de comunicação de massa, abrangendo livros didáticos, palestras, museus e outros meios (Rocha, 2012).

A percepção de uma parte da população é difusa e encerra uma série de equívocos, como o de imaginar que a Ciência e a Tecnologia não é algo contínuo, mas que progridem aos saltos a partir de mentes privilegiadas. Alguns ainda não reconhecem, de imediato, o caráter coletivo ou burocrático da produção da Ciência e a individualiza. Acredita que cientistas e pesquisadores estão à margem de um sistema sofisticado de produção que incorpora interesses, recursos financeiros e tecnológicos, metodologias de análise e/ou medição. Essa visão, destacada por Bueno (2010), precisa ser superada para compreender a natureza colaborativa e multifacetada da Ciência e Tecnologia.

4.1 Divulgação Científica versus Comunicação Científica

Divulgação Científica engloba um espectro mais amplo que a Difusão Científica, sendo mais abrangente que a Comunicação Científica, como esquematizado na Figura 15. A Difusão abrange todos os processos de comunicação da informação científica, seja para especialistas (sinônimo de disseminação) ou para o público em geral (equivalente a divulgação) (Albagli, 1996). Ainda de acordo com o autor, a comunicação científica é direcionada a um público específico de especialistas, utilizando códigos especializados

Figura 15 – Comunicação, divulgação e difusão.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

A comunicação científica e a divulgação científica, embora relacionadas, diferem em público-alvo, objeto, função, meios e linguagem. A comunicação científica é o diálogo na comunidade científica, enquanto a divulgação científica visa comunicar com um público diversificado fora dessa comunidade (Valerio; Pinheiro, 2008).

A comunicação científica visa, basicamente, à difusão de informações com o intuito de tornar conhecidos, na comunidade científica, os avanços obtidos (resultados de pesquisas, relatos de experiências, etc.) em áreas específicas ou a elaboração de novas teorias ou a revisão das existentes (Bueno, 2010). Diz respeito à transferência de informações científicas, tecnológicas ou associadas a inovações e que se destinam aos especialistas em determinadas áreas do conhecimento.

Garvey e Griffith (1979) defenderam que a comunicação é um processo que se inicia com a pesquisa e termina com as descobertas incorporadas ao conhecimento científico, sendo a informação parte inseparável da pesquisa. A Comunicação Científica é definida por esses autores como o conjunto de atividades associadas à produção, disseminação e uso da informação. No Quadro 3, sintetizamos as principais diferenças entre Comunicação e Divulgação Científica.

Quadro 3 - Comunicação Científica versus Divulgação Científica.

TERMOS	COMUNICAÇÃO CIENTÍFICA	DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA
Público Alvo	Própria, comunidade científica, pesquisadores;	Público geral, público escolar, pouco ou nenhum conhecimento científico, as grandes massas;
Objeto	Informações, dados e procedimentos;	Temas especializados com impacto social;
Função	Compartilhar resultados de pesquisas;	Democratizar o acesso ao conhecimento científico;
Meios	Conferências, artigos em periódicos;	Textos pedagógicos, artigos em revistas, youtube, podcasts;
Linguagem	Discurso científico;	Discurso de divulgação.

Fonte: Aatoria Própria, 2023.

Os canais informais são formas efêmeras de comunicação, por ficarem à disposição de um público limitado por pouco tempo. Entre os meios de comunicação orais, estão as conversas, os encontros científicos, os colóquios e as conferências, bem como as comissões científicas e técnicas. Entre os meios escritos, estão os relatórios de pesquisa, relatórios técnicos, teses e dissertações, boletins, pré-publicações (pre-prints), anais (proceedings), artigo de periódico e o próprio periódico científico (Garvey; Griffith, 1979).

4.2 Divulgação Científica sob a perspectiva sócio-cultural

Na perspectiva sociocultural, Ferreira e Queiroz (2003) afirma que a Divulgação Científica varia segundo o lugar e a época, defendendo a importância na integração da Ciência com a Cultura. Reis (2020) destaca três principais parâmetros para a DC. O primeiro diz respeito ao fato de a legítima DC ser aquela que é destinada às grandes massas, com vistas à Alfabetização Científica (AC). No segundo aspecto, enfatiza que o papel da DC envolve não apenas popularizar a Ciência, mas formar consciências a respeito da natureza da Ciência. O último parâmetro toca a importante questão dos processos sociais em relação com a Ciência.

Afonso (2008) argumenta que em uma sociedade democrática é fundamental levar, até os cidadãos, conhecimentos sobre ciência e tecnologia relacionados às suas vidas, de modo que possam compreender e criticar as ferramentas que influenciam suas ações. Defende que os cientistas precisam aproximar suas atividades com a linguagem entendida pelo público em geral, no intuito de discutir com a sociedade as implicações que a investigação científica pode ter. Zamboni (2001), considera que a atividade de DC sustenta-se na função de partilha do saber.

Hernando (2006), ilustra a importância da sociedade em ter conhecimento do desenvolvimento da Ciência. Destaca que as pessoas tem necessidade de informações atualizadas sobre o conhecimento científico, pois precisam disso para compreender e tornar mais proveitoso o mundo em que vivem. Ele atribui a DC a criação de uma consciência científica coletiva, a qual, segundo o autor, reforçaria a sociedade democrática e aponta que divulgar é uma necessidade cultural na qual a DC põe a disposição do público conhecimentos sobre uma melhor utilização dos progressos da Ciência e Tecnologia. Ele ainda destaca que esse conhecimento também pode ser trabalhado como complementação do ensino, não substituindo a educação formal, porém pode suprir lacunas do ensino moderno, contribuir com o desenvolvimento da educação permanente e ajudar o público a adotar determinadas atitudes perante a Ciência.

Segundo Rocha (2012), é importante destacar também que aproximar a Ciência da sociedade, no sentido de inclusão social, pelo fato de muitas vezes a Ciência passar a ser vista como uma fragmentação social, em que de um lado se encontra os cientistas, um público mais restrito, privilegiado e do outro os cidadãos comuns, a população em massa que é o público geral. Essa fragmentação acaba levando a uma imobilidade de muitos cidadãos quando se trata em discutir assuntos relacionados com a Tecnologia e com a Ciência (Bazzo et al., 2007).

Gouvêa (2000), ao discutir sobre o papel social da divulgação científica, considera que numa sociedade contemporânea, permeada pela Ciência e Tecnologia, o acesso aos conhecimentos científicos e tecnológicos que são produzidos é um elemento essencial para o exercício da cidadania.

4.3 Divulgação Científica sob a perspectiva discursiva

Na perspectiva discursiva, a Ciência é uma prática social, fruto de um processo cultural e histórico, e como tal, não pode ser vista como independente do sujeito e das ideologias que o constituem. Por esse motivo, todos esses fatores refletem a constituição e organização do discurso da Ciência, seja na disseminação da Ciência do meio acadêmico, seja na DC (Cunha e Giordan, 2009).

Authier-Revuz (1998), buscando caracterizar o funcionamento e a função de alguns textos franceses de divulgação para o grande público, analisou artigos e dossiês das revistas *Science et Vie*, *Science et Avenir* e páginas do jornal *Monde* sobre Ciência e Tecnologia (Zamboni, 2001) e concluiu que a reformulação do discurso de especialistas em Ciência, em um novo discurso para o público, é a principal característica do discurso da DC. Acrescenta que a divulgação científica é classicamente considerada como uma atividade de disseminação, em direção ao exterior, de conhecimentos científicos já produzidos e em circulação no interior de uma comunidade mais restrita. Essa disseminação é feita fora da instituição escolar-universitária e não visa à formação de especialistas, isto é, não tem por objetivo estender a comunidade de origem.

Transmissão de um discurso existente em função de um novo receptor, a divulgação científica dá-se então, imediatamente, como uma prática de reformulação de um discurso-fonte em um novo discurso. Por isso, a divulgação científica inscreve-se em um conjunto que compreende tradução, resumo, resenha e, também, textos pedagógicos adaptados a este ou àquele nível (Authier-Revuz, 1998).

De acordo com Baalbaki (2006), os estudos de Authier-Revuz fundamentam-se na noção bakhtiniana de dialogismo, com foco no discurso da DC sob a ótica da heterogeneidade discursiva demonstrada. Ele defende que a DC é muito mais que um trabalho de formulação de um novo discurso, que se articula com o campo científico que uma mera reformulação de linguagem. Gois (2010) viu no discurso da divulgação científica um gênero discursivo particular, distante do gênero do discurso científico, autônomo tanto quanto qualquer outro discurso possa ser, envolvente e cativante.

Os discursos são organizados socialmente, inserem-se numa ordem enunciativa e são regulados e moldados pelos gêneros que os constituem. Em outras palavras, cada esfera da comunicação social apresenta “*tipos relativamente estáveis de enunciados*” (Filho, 2010). Concordamos com Zamboni (2001) ao considerarmos que o discurso da DC não é simplesmente uma reformulação do discurso científico, como se o divulgador da Ciência fosse um mero tradutor. O divulgador da Ciência constrói um novo discurso e este apresenta características inerentes às suas condições de produção.

A divulgação científica apresenta níveis de discurso diferentes, em conformidade com as singularidades do público. Teles e Oliveira (2021) ressaltam que o público da divulgação científica não necessariamente é alfabetizado cientificamente e, por isso, termos técnicos ou conceitos que não fazem parte do seu cotidiano trazem dificuldades para acompanhar determinados temas ou assuntos. Por esse motivo, há a necessidade de realizar a decodificação utilizando metáforas, ilustrações e outros recursos para facilitar a compreensão do público.

Há, portanto, na divulgação científica, embate permanente entre a necessidade de manter a integridade dos termos técnicos e conceitos para evitar leituras equivocadas ou incompletas e a imperiosa exigência de se estabelecer efetivamente a comunicação, o que só ocorre com o respeito ao background sociocultural ou linguístico da audiência (Bueno, 2010).

4.4 Fakes News e os impactos na divulgação científica

As Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) sempre tiveram contribuições importantes no processo de Divulgação Científica e ultimamente têm sido fundamentais para a nossa sociedade. Por meio de suas múltiplas formas foi possível aprofundarmos mais na produção e disseminação do conhecimento no mundo.

Para Ponte (2000), as TIC têm acarretado uma revolução em várias áreas e atividades: na investigação científica, nos processos de ensino/aprendizagem, no jornalismo, na prática médica, nas empresas, na administração pública, entre outras. A facilidade e a agilidade que a tecnologia pode representar e processar qualquer tipo de informação é um dos fatores determinantes para tal fato. Pereira & Silva (2010), reforçam que a evolução das TIC não provocou mudanças apenas nas áreas de tecnologia e comunicação, mas em diversas áreas do conhecimento humano.

A internet, umas das mais intensas tecnologias de informação e comunicação e bem presente nos dias atuais, tem colaborado para tornar possível apresentar as múltiplas produções humanas. Seu surgimento possibilitou à sociedade o acesso imediato a todo tipo de informação

e serviços através das redes de computadores, smartphones e tablets, em escala global, possibilitando difundir e democratizar todo e qualquer tipo de informação, boas ou ruins, por meio da captura de tela, armazenamento de conteúdo, pesquisas diversas, além de ferramentas tecnológicas que nos permitem analisar, avaliar e transformar essas informações em conhecimento (Leite, 2011).

Apesar de todos os benefícios que a internet pode trazer em termos de Divulgação Científica, é necessário ter cautela. Nem todas as informações expostas na rede são verdadeiras. A Ciência segue protocolos que visam produzir um conhecimento fundamentado, testado, possível de ser construído pelo uso de métodos e procedimentos que visam à busca da fidedignidade com a realidade. Diferente de muitas notícias que circulam nas redes sociais que em suas replicações podem converter, de uma mentira em uma "*verdade absoluta*", como é o caso das muitas Fake News.

Recentemente o mundo viveu a Pandemia do Coronavírus (Covid19) e é possível citar inúmeras informações falsas, que circularam nas redes sociais, aplicativos de mensagens e páginas na internet, desde receitas caseiras para o combate ao vírus e a utilização de remédios sem comprovações científicas até ações que movimentaram pessoas contra as vacinas. Essas fake news tem se espalhado em todos os tipos de redes sociais, levando muitas pessoas a acreditarem nessas informações e desacreditarem na Ciência. Em muitos casos foram utilizados referências com citações, fontes e cientistas falsos, buscando utilizar os mesmos critérios que a Ciência utiliza para explicitar a origem de seus dados, demonstrando que suas pesquisas se fundamentam em fontes seguras e confiáveis (Dantas, 2020).

Segundo Neto (2019), não cabe mais aos divulgadores apenas apresentar o conhecimento científico à população, é preciso ir para o confronto, mostrando as fragilidades das pseudociências, dos mitos e das fake news. Trata-se não apenas de mostrar o que está certo, mas de desmentir informações que circulam como se fossem verdades.

Esse ambiente difícil de hostilidade reforça a ideia de que é preciso mais do que nunca divulgar a Ciência e combater os pseudocientistas que desinformam e destroem a Educação Científica. O aumento de atividades de Divulgação Científica pode criar um público mais atento e exigente ao acessar os conteúdos, sabendo minimamente identificar aquilo que vale a pena ser lido.

4.5 Divulgação Científica e o contexto escolar

A divulgação científica no contexto escolar é importante para a democratização do ensino, possibilitando um espaço aberto para a socialização do conhecimento científico (Ferreira; Queiroz, 2003). Diante disso, uma educação científica, que possibilite aos estudantes um reconhecimento da Ciência como parte integrante da cultura humana, passa a ser um objetivo educacional prioritário.

É importante destacar que o conceito de educação científica não está associado a, simplesmente, uma transmissão de conhecimentos, em que predomina a relação do professor (emissor), que emite a informação e do aluno (receptor) que recebe a informação, mas sim, da compreensão dos caminhos percorridos pela Ciência nos processos de produção desses conhecimentos, bem como dos riscos e controvérsias envolvidos nesses processos, do momento histórico em que eles acontecem, das influências e interesses de determinados grupos sociais, enfim, de todas as questões envolvidas no fazer científico (Lima; Giordan, 2018).

No entanto, o ensino de Ciências nas escolas parece estar distante do processo de divulgação científica. Este problema já era visto desde 1996 por Kawamura e Salém, em que destacaram que, enquanto de um lado os meios de comunicação despertam interesse e atraem o público em geral, do outro lado, a Ciência tratada na escola vai perdendo a curiosidade pelos alunos na medida em que eles vão passando de série.

No século XIX, o currículo escolar brasileiro era marcado predominantemente pela tradição literária e clássica herdada dos jesuítas onde o ensino de ciências teve pouca prioridade no currículo (Alemeida Junior, 1979). O ensino de Ciências só passou efetivamente a ser incorporado ao currículo escolar, a partir dos anos de 1930, quando ocorreu a busca por sua inovação (Krasilchik, 1987). Esse processo de inovação teve início com um processo de atualização curricular e depois continuou com a produção de Kits de experimentos na década de 1950 e com a tradução de projetos americanos.

Ao final da década de 1950 e durante as décadas de 1960 e 1970, a produção científica e tecnológica esteve quase que exclusivamente sob o domínio do Estado, incluindo aquela gerada nas universidades, predominando em muitos setores uma separação formal entre pesquisa científica e produção tecnológica (Nascimento, 2010).

De acordo com Fernandes (2005), a pesquisa na área de Educação em Ciências no Brasil teve início efetivo na década de 1970, crescendo nos anos seguintes. Nessa mesma década, foi criado o Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF), um evento importante que reúne educadores, pesquisadores e profissionais para discutir e compartilhar práticas inovadoras no

ensino da Física. Este evento anual proporciona um espaço dedicado à reflexão sobre métodos pedagógicos, tecnologias educacionais e estratégicas para tornar o aprendizado da Física mais acessível e envolvente.

Ao reunir especialistas e interessados na área, o SNEF contribui significativamente para o aprimoramento contínuo no ensino e na divulgação da Ciência no Brasil, promovendo a disseminação de conhecimento e o fortalecimento da comunidade educacional (SNEF, 2023). Dessa maneira, a preocupação com a Educação Científica vem sendo defendida não só por educadores em Ciências, mas por diferentes profissionais, pois a educação científica apresenta um conceito amplo que depende do contexto histórico no qual ela é proposta, (Ferreira; Queiroz, 2003).

4.5.1 Contribuições didáticas da Divulgação Científica

De acordo com Rocha (2012), entre as vantagens advindas da utilização desta variedade de textos no contexto escolar destacam-se: o acesso à informação, a possibilidade de contextualização de conteúdos e a ampliação da discussão sobre questões atuais dentro da sala de aula. Vale ressaltar ainda, o desenvolvimento de habilidades de leitura, o domínio de conceitos, de formas de argumentação e a familiarização de certos termos científicos, tais como: clonagem, radicais livres, camada de ozônio, ultravioleta, efeito estufa entre outros. Desta forma, o texto de divulgação científica se torna um material interessante, rico e sintonizado com o cotidiano quando passa a constituir com uma articulação entre os conteúdos curriculares e o mundo do aluno, fazendo conexão entre o que se aprende na escola e o que está fora dela.

Segundo Rocha e Martins (2001), o texto de divulgação científica ao ser inserido na sala de aula precisa ser transformado e re-significado. Inicialmente concebido para fins não didáticos, o texto de divulgação passa a interagir e cooperar com outros textos como o didático, o currículo, o paradidático, etc. no sentido de cumprir os objetivos do ensino. Esta dinâmica reflete em mudanças nas condições sociais de produção da leitura destes textos (por exemplo, de um contexto de leitura por informação para um contexto de leitura para aprendizagem). Dessa forma, a utilização de materiais de divulgação científica como recurso didático deve ser acompanhada por uma reflexão dos professores acerca das condições de produção destes materiais e de seus efeitos sobre as audiências no espaço escolar. Uma vez que, quando vão para a escola os textos de divulgação científica passam a cumprir outro papel.

Carli (1988) chegou a enumerar seis possibilidades para o uso em sala de aula de materiais de Divulgação Científica, a partir dos objetivos pretendidos, sem, no entanto, especificar as formas para a sua realização concreta:

1. Motivar os alunos para o estudo de um tema pouco interessante;
2. Mudar o comportamento em relação à aprendizagem de Ciências;
3. Compreender os mecanismos de funcionamento e de produção do conhecimento científico;
4. Ilustrar o conteúdo formal;
5. Atualizar conhecimentos em Ciência; e
6. Avaliar socialmente a Ciência.

A educação em Ciências é uma área do conhecimento que é bem discutida no meio científico e pouco entendida pelos alunos e também pelos profissionais que atuam na área (Santos, 2007). Essa problemática afeta não só a sua utilização e aplicação pelos alunos, mas também seu interesse ou relevância (Pozo, 2009). Para Cachapuz (2005), a educação em Ciência enquanto área emergente do saber em estreita conexão com a Ciência necessita da epistemologia para uma fundamentada orientação, devendo ser ainda um referencial seguro para uma mais adequada construção de sua análise.

Segundo Ferreira e Queiroz (2003), a Educação em Ciência deve dar prioridade à formação de cidadãos com entendimento científico mais elaborado para que participem efetivamente na sociedade dentro de um processo democrático aberto. Nessa perspectiva, destacamos a importância da divulgação científica para a construção de um olhar mais crítico, propiciando uma mudança social e tecnológica para uma melhor assimilação da Ciência e da realidade cotidiana.

No entanto, a ausência de estratégias pedagógicas focadas ao ensino de determinados conteúdos das Ciências, acaba gerando dificuldades no aprendizado do aluno, principalmente quando a metodologia utilizada não relaciona esse conteúdo com a realidade em que vivem (Santos, 2007). Com isso, a desmotivação e desinteresse acabam acontecendo e o aluno não desenvolve sua curiosidade e reflexão crítica de maneira adequada. Os alunos não são ensinados como fazer conexões críticas entre o conhecimento sistematizado pela escola com a prática cotidiana. Os educadores deveriam propiciar aos alunos a visão de que a Ciência, como as outras áreas, é parte de seu mundo e não um conteúdo separado, dissociado de sua realidade (Lorenzetti; Delizoicov, 2001).

Neste sentido, Pozo (2019) defende que uma postura construtivista diante da aprendizagem se faz necessário à medida que muda a forma de ensinar e aprender. Defende que a ideia básica do chamado enfoque construtivista é que aprender e ensinar, longe de serem meros processos de repetição e acumulação de conhecimentos, implicam em transformar a mente de quem aprende, que deve reconstruir em nível pessoal os produtos e processos culturais com o fim de se apropriar deles.

Por fim, Oliveira e Nóbrega (2021) ressalta que na construção social e gradual do conhecimento, deve-se enfatizar a importância de práticas que, além de incorporarem o saber científico, contribuem para a formação de hábitos e atitudes que permanecerão após o abandono da escola.

5. METODOLOGIA DA PESQUISA

Como o objetivo de nossa pesquisa consiste no planejamento de uma Sequência Didática (SD), direcionada para estudantes do Ensino Médio, buscando abordar a luz síncrotron e a divulgação do acelerador de partículas brasileiro Sirius, a metodologia selecionada foi a de um estudo de multicasos, adotando uma abordagem qualitativa para os resultados. Utilizamos estratégias exploratória, descritiva e interpretativa, o que permite flexibilidade metodológica. Essa escolha se justifica pelo fato dos caminhos metodológicos a serem utilizados não solicitar do pesquisador o tratamento matemático sofisticado para a análise dos dados, vindo à manipulação dos resultados estatísticos serem trabalhados de maneira qualitativa a partir das interpretações.

Conforme Creswell (2021), a pesquisa qualitativa engloba um conjunto de práticas que convertem o mundo visível em dados representativos, abrangendo notas, entrevistas, fotografias, registros e lembretes. Pesquisadores que adotam essa abordagem buscam levantar predominantemente dados descritivos, visando compreender um fenômeno em seu contexto natural, utilizando-o como fonte direta para interpretar valores e significados. Essa abordagem foi aplicada neste trabalho por meio da utilização da SEI no desenho de uma SD sobre a abordagem da luz síncrotron e o acelerador de partículas Sirius.

Dado que a proposta do desenho da SD destina-se a estudantes do Ensino Médio e busca abordar a temática supracitada, definimos nossa pesquisa como uma Pesquisa de Natureza Interventiva (PNI). Teixeira e Megid (2017) caracterizam a PNI como uma prática que combina processos investigativos com o desenvolvimento simultâneo de ações de natureza diversificada. É importante salientar que, nesta pesquisa, esse recurso foi aplicado de forma organizada e planejada.

5.1 Caracterização dos sujeitos e campo da pesquisa

O desenvolvimento desta pesquisa ocorreu em duas fases. A primeira teve como objetivo apresentar uma proposta de SD construída sobre a luz síncrotron e o acelerador de partículas Sirius, utilizando os elementos da SEI, visando aprimorar o processo de ensino e aprendizagem. Nessa etapa, buscou-se validar esta proposta com 29 professores de Ciências (Física, Química e Biologia) que participaram da Escola Sirius para Professores do Ensino Médio (ESPEM), nas edições de 2021 (on-line) e 2023 (presencial). Este evento é realizado pelo Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), sob supervisão do

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), em parceria com a Sociedade Brasileira de Física (SBF).

Na segunda fase, realizou-se um teste piloto da SD desenvolvida com um grupo de 26 estudantes do Ensino Superior, na disciplina de Didática, da Universidade Federal Rural de Pernambuco – Campus Sede. Esses estudantes, pertencentes a diversos cursos (Letras, Química, Física, Matemática, História e Gastronomia), variando entre o segundo e oitavo período de seus cursos de graduação, vivenciaram a intervenção didática proposta.

5.2 Contato com os envolvidos na pesquisa

O contato com os professores que participaram da ESPEM, para explicar a pesquisa e os convidá-los a participar, ocorreu em dois momentos: individualmente e online, via WhatsApp, com os participantes da edição 2021; e presencial, durante o evento da ESPEM em Campinas/SP, edição 2023. O contato com os alunos do Ensino Superior foi realizado presencialmente, na própria instituição em que estudam.

5.3 Cuidados Éticos

Em conformidade com os princípios éticos que devem reger a pesquisa científica, o primeiro momento do estudo consistiu na submissão do protocolo de pesquisa ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) por meio Plataforma Brasil. Esse procedimento visa proteger os participantes e oferecer respaldo ao pesquisador. O documento atesta a aprovação e encontra-se no Anexo A.

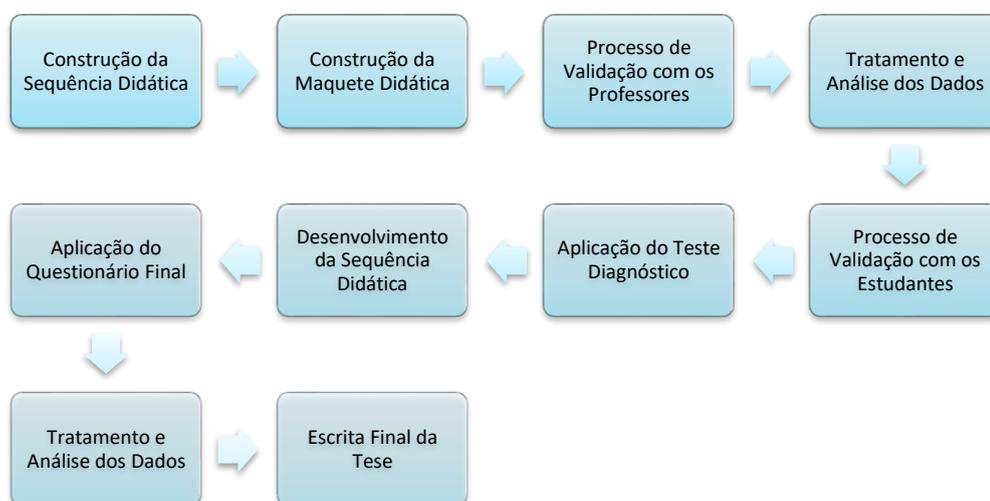
Também foi assinado, pelo pesquisador responsável, o Termo de Compromisso e Confidencialidade (Anexo B), comprometendo-se a preservar o sigilo e a privacidade dos voluntários, cujos dados foram estudados e divulgados exclusivamente em eventos ou publicações científicas, mantendo as informações sensíveis protegidas, incluindo dados pessoais.

Todos os participantes da pesquisa, tanto os professores da ESPEM quanto os estudantes do Ensino Superior, receberam e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Esse documento, em conformidade com a resolução 466/2012 dos Direitos Humanos, assegura todos os direitos aos participantes, garantindo o seu anonimato (Brasil, 2013). O TCLE, disponível no Anexo C, tem como finalidade informar detalhadamente aos participantes sobre os procedimentos, possíveis riscos e benefícios, possibilitando que tomem uma decisão voluntária e consciente ao participar do estudo.

5.4 Procedimentos metodológicos

Para realizar a investigação proposta, seguimos uma sequência de procedimentos e atividades, representados de maneira gráfica no fluxograma da Figura 16. Além disso, descrevemos e detalhamos essas etapas e procedimentos metodológicos nas seções subsequentes. É importante ressaltar que algumas etapas dos nossos procedimentos metodológicos alinham-se com as etapas da Sequência de Ensino Investigativo (SEI). Adicionalmente, incluímos procedimentos metodológicos complementares que contribuirão para a coleta e análise de dados em nossa pesquisa, como o Teste Diagnóstico (Apêndice D), O Instrumento Avaliativo (Apêndice C) e a Avaliação Final (Apêndice K) com os estudantes do Ensino Superior que participaram da SD.

Figura 16 -- Fluxograma Ilustrativo dos Procedimentos Metodológicos.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

5.4.1 Construção da SD com base na SEI

A SEI sobre a luz síncrotron e o acelerador de partículas Sirius foi organizada considerando as quatro etapas propostas por Carvalho (2013). Conforme Schwartz e Crawford (2006), semelhante ao que acontece na comunidade científica, durante o desenvolvimento de atividades de investigação, os estudantes têm a oportunidade de aprimorar a argumentação, comunicar resultados, compartilhar ideias, trocar exemplos e aceitar as opiniões dos pares quanto à validade do conhecimento construído. Esse processo reflete a dinâmica essencial de uma comunidade científica e como se dá a construção do conhecimento científico (Carvalho, 2013).

O ensino por investigação possui diversas finalidades, conforme destacado por Sasseron (2015). Os alunos, ao participarem de atividades investigativas, podem reconhecer problemas e empregar estratégias pessoais alinhadas aos procedimentos científicos para resolvê-los. Eles desenvolvem a capacidade de planejar experimentos para verificar hipóteses, bem como aprimoram suas habilidades de observação. A Figura 17 ilustra a sistematização de um modelo para a SEI.

Figura 17 – Sistematização da Sequência de Ensino Investigativo (SEI).



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Para acompanhar o desenvolvimento das etapas da SEI, optamos por criar um material que foi impresso e entregue aos estudantes (Apêndices E, H, I, J e K). Esse material facilitou o desenvolvimento da SD e a coleta de dados por meio das atividades propostas. No material, os estudantes encontram textos, imagens, links para vídeos e espaços para explicitar suas concepções e construir argumentos sobre os fenômenos observados e estudados.

Essa investigação, por meio da SEI, visou abordar aspectos relacionados ao desenvolvimento da autonomia do estudante, permitindo sua participação ativa na construção de conhecimento, interagindo com o docente e colegas e envolvendo-se em sua própria aprendizagem. Nesse processo, o docente atua como mediador do conhecimento, planejando sua abordagem didática e, por meio da maquete, estimula o interesse dos estudantes para investigar e desenvolver estratégias, com o objetivo de construir conhecimento sobre a luz síncrotron e o acelerador de partículas Sirius, tema desta pesquisa.

Carvalho (2013) destaca a importância de um problema para o início da construção do conhecimento, sendo esse impulso inicial um ponto crucial entre os conhecimentos teóricos trazidos pelo professor e a construção de um conhecimento que permita aos estudantes raciocinar e refletir com base em seus conhecimentos prévios. O ensino por investigação, segundo a autora, não pressupõe necessariamente a realização de aulas experimentais.

O objetivo desta etapa foi promover, conforme Piaget (1976), a passagem da ação manipulativa para a ação intelectual na construção do conhecimento por meio de hipóteses, mediada pelo professor, usando questões problematizadoras que levem os alunos a tomar consciência de suas ações, valorizar o erro, refletir sobre ele, sistematizar ideias e construir evidências.

Após a resolução individual dos problemas pelos alunos, o professor continua a sistematização coletiva do conhecimento. Este espaço permite que os alunos discutam com os colegas sob a supervisão do professor, compartilhando e dialogando sobre suas respostas individuais. Durante essa discussão coletiva, foi essencial revisitar todo o processo de resolução dos problemas de maneira mais científica e sistematizada, utilizando uma linguagem formal e esclarecendo os principais conceitos e ideias.

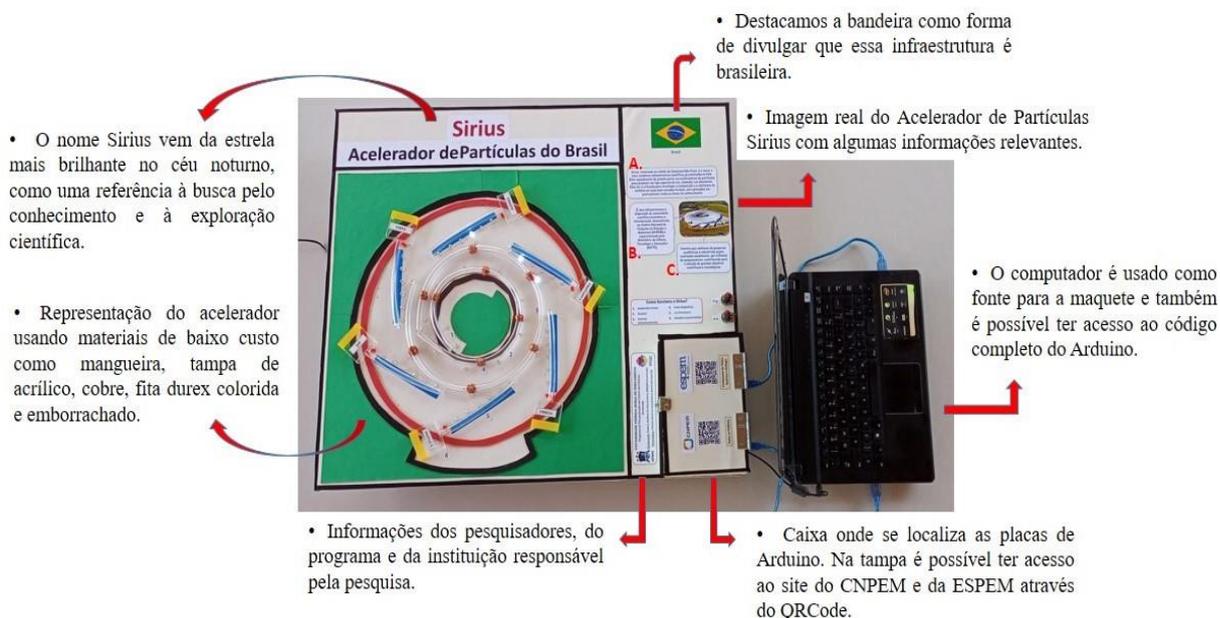
5.4.2 Construção da Maquete Didática

Antes da intervenção com os estudantes, dedicamos esforços para a construção da Maquete Didática do acelerador de partículas (Apêndice G), utilizada como analogia funcional do acelerador Sirius, ilustrado na Figura 18, ao longo das etapas da SEI. O Apêndice também contém um guia detalhado da maquete, mostrando o passo a passo de sua construção.

Silva, Martin e Beline (2014) afirmam que as maquetes são representações em escala reduzida ou ampliada de um espaço, baseadas em dados e variáveis reais, possibilitando uma manipulação palpável e uma visualização tridimensional de diferentes temáticas, permitindo ao professor explicar diversos conteúdos. Neste contexto, o uso da maquete em nossa proposta se tornou uma ferramenta estratégica e interessante como recurso didático na construção de saberes práticos.

Para Fernandes (2018), a utilização de maquetes no ambiente escolar proporciona o “domínio visual” do espaço por meio um modelo reduzido. Castrogiovanni, Callai e Kaercher (2017) afirmam que a maquete cria um espaço de interação do aluno com a prática e o cotidiano, levando a novas reflexões e representações.

Figura 18 – Maquete didática do acelerador de partículas Sirius.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Concordamos com Urbanck (2015) ao afirmar que a maquete, como ferramenta didática, proporciona uma interação dos alunos com a espacialidade (simulada), mas, isso permite fazer análises que eram abstratas e que na maquete se tornam visíveis e aproximam os saberes dos alunos com os conteúdos científicos.

Nessa pesquisa, o uso da analogia funcional da maquete foi planejado como um dos elementos essenciais para a dinâmica da proposta didática a ser desenvolvida em sala de aula. Dinâmicas estas, que objetivam desenvolver nos discentes a possibilidade de vivenciar conflitos cognitivos e desenvolver estratégias para resolvê-los, de forma interativa e participativa conjugando pensamento e ação.

5.4.3 Processo de Validação com os Professores da ESPEM

Após a construção da SD sobre a luz síncrotron e o acelerador de partículas Sirius, como mencionado anteriormente, ela foi submetida a um processo de validação em duas etapas: com professores participantes da ESPEM e com estudantes do Ensino Superior. Nesse contexto, validação, conforme Guimarães e Giordan (2013), é definida como o processo pelo qual é analisada a viabilidade de determinado procedimento ou instrumento de pesquisa em atender às propostas expostas pelo objeto de estudo a que esteja vinculado. Na perspectiva deste trabalho, a validação da SD estava intimamente relacionada ao potencial de alcançar os objetivos de ensino e aprendizagem propostos.

Ainda de acordo com os autores o processo de validação permite identificar evidências que capacitam o pesquisador a inferir os potenciais de uma intervenção, além de identificar fragilidades e necessidades de ajustes e aprimoramento. Existem diversas formas de conduzir um processo de validação (Morais, 2020). Neste trabalho, optou-se por um método que analisasse a SD de maneira a fornecer condições e qualidade para sua abordagem em sala de aula, direcionada aos estudantes do Ensino Médio, sobre a luz síncrotron e o acelerador brasileiro Sirius.

Na primeira parte da validação, os professores foram convidados a avaliar a SD antes da implementação em sala de aula. Eles foram solicitados a utilizar suas experiências profissionais e a vivência no evento da ESPEM para avaliar se a SD construída tinha potencial pedagógico para atingir os objetivos estabelecidos. Os convites, contendo o instrumento avaliativo e a descrição completa da SD, foram enviados aos professores individualmente via WhatsApp.

Foram enviados 50 convites com um prazo de 20 dias para a devolução da avaliação, considerando apenas as avaliações recebidas dentro do prazo estabelecido. Dessa forma, 29 avaliadores(as) fizeram parte desse processo de avaliação. Detalhes mais específicos sobre o perfil desses avaliadores serão apresentados no Capítulo 6, intitulado “Resultados e Discussões”.

5.4.3.1 Instrumento Avaliativo da SD

Para realizar a primeira fase da pesquisa com os professores, desenvolvemos um Instrumento Avaliativo da SD por meio de um questionário eletrônico (Apêndice C). O objetivo foi validar uma SD que abordou a radiação da luz síncrotron e a divulgação do acelerador de partículas Sirius, utilizando como referência metodológica a SEI.

O questionário é um instrumento comumente utilizado em pesquisas educacionais para obter informações, baseando-se em grupos representativos da população em estudo. De acordo com Gil (2008), Fachin (2005) e Joseph (2005), o questionário é uma técnica de coleta de dados que possibilita o levantamento de percepções, opiniões, crenças e outras informações sobre um determinado assunto. É uma ferramenta importante, permitindo a obtenção de dados que contribuem para a validação da SEI, além de oferecer facilidade na interrogação de um grande número de pessoas em um curto espaço de tempo.

Na presente pesquisa, foi empregado o Google Formulários, uma ferramenta gratuita disponibilizada pelo Google, que possibilita a criação de questionários e formulários online. Conforme relatado por Mota (2019), o Google Formulários é uma ferramenta versátil e útil para coletar informações, realizar pesquisas, fazer questionários, entre outros. Sua ampla utilização em ambientes educacionais, empresariais e pessoais é atribuída pela facilidade de uso e por uma integração eficiente com outras ferramentas do Google, como o Google Drive.

5.4.4 Processo de Validação com os Estudantes do Ensino Superior

Após a fase de validação da Sequência Didática (SD) com os professores participantes da ESPeM, realizamos um teste piloto com os estudantes do Ensino Superior. A Intervenção Didática (ID) ocorreu ao longo de dois dias, durante as aulas do componente curricular Didática na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), com cada intervenção tendo uma duração de 2 horas. A ID foi conduzida em 8 momentos conforme esquematizado na ordem das atividades no Quadro 4.

Quadro 4 – Esquema das aulas durante a ID.

Momento	Planejamento	Abordagem
1	Cuidados Éticos	Diálogo com os estudantes e assinatura do TCLE.
2	Teste Diagnóstico	Verificação dos conhecimentos prévios.
3	Desenvolvimento da SEI	1ª Etapa (Problema Experimental ou Teórico) - Questões problematizadoras com o uso da Maquete.
4		2ª Etapa (Sistematização do Conhecimento) - Promoção da discussão dos alunos, dialogando com os colegas e com o pesquisador.
5		3ª Etapa (Contextualização) - Leitura e atividade do texto da Covid.
6		3ª Etapa (Aprofundamento) - Leitura dos textos complementares e vídeos sobre o Sirus
7	Avaliação Final	Identificação de possíveis indicadores de Alfabetização Científica.
8	Avaliação Geral da SD	Reflexão sobre a SD desenvolvida.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

A intervenção didática proposta segue uma cuidadosa sequência de etapas, começando pelos cuidados éticos essenciais, estabelecendo um diálogo ético com os estudantes e obtendo a assinatura do TCLE, já detalhado na seção 5.3.

O Teste Diagnóstico veio em seguida, permitindo a avaliação dos conhecimentos prévios dos alunos. O desenvolvimento da Sequência de Ensino Investigativo (SEI) compreendeu o desenvolvimento de três etapas distintas. Na primeira, introduz-se o problema experimental ou teórico, utilizando uma maquete para promover a compreensão. A segunda etapa envolveu a promoção da discussão entre os alunos, incentivando o diálogo com colegas e pesquisadores. A terceira etapa desdobra-se em contextualização, com a leitura e atividade relacionadas ao texto sobre a Covid, seguida por um aprofundamento através da leitura de textos complementares e visualização de vídeos sobre o Sirius. A quarta etapa da SEI, que envolveu práticas inovadoras de avaliação, transcorreu durante a intervenção didática, com análise de cada atividade realizada pelos estudantes.

A avaliação final da intervenção buscou identificar indicadores de Alfabetização Científica, proporcionando uma visão abrangente do aprendizado. A análise geral da Sequência Didática concluiu o processo, oferecendo espaço para a reflexão sobre o desenvolvimento e impacto da abordagem educacional adotada. Essa estrutura organizada reflete um cuidadoso planejamento pedagógico, integrando aspectos éticos, diagnósticos, e formativos ao longo do percurso de aprendizagem.

5.4.4.1 Aplicação do Teste Diagnóstico

Após o diálogo com os estudantes e a assinatura do TCLE, dedicamos um tempo para a aplicação de um Teste Diagnóstico (Apêndice D) como sondagem para avaliar seus conhecimentos prévios. Os resultados coletados por meio deste teste diagnóstico também serviram como elementos mediadores e de reconhecimento de estratégias e obstáculos.

Concordamos com Oliveira (2022) ao afirmar que a avaliação diagnóstica identifica dificuldades e avanços no processo de aquisição de conhecimento e pode ser usada para classificar ou subsidiar a aprendizagem. As avaliações diagnósticas são conduzidas com o propósito de identificar as fraquezas e potencialidades dos estudantes, com o intuito de informar futuras estratégias ao professor e ao aluno (Firme, 1994).

Nesta pesquisa, o teste, composto por cinco perguntas, foi realizado para avaliar os níveis de desenvolvimento e habilidades que identificasse alguns conceitos científicos, proporcionando ancoragem e compreensão de temas relacionados aos aceleradores de partículas e a luz síncrotron.

5.4.4.2 Questões Problematizadoras

Após a conclusão do teste diagnóstico, a SD teve início com a primeira etapa da SEI. Como mencionado anteriormente, desenvolvemos e utilizamos uma Maquete funcional do Sirius para auxiliar durante a intervenção. Para esta etapa, elaboramos um material denominado “Questões Problematizadoras”, que contém um conjunto de quatro perguntas relacionadas à maquete e direcionadas ao acelerador Sirius. O material, disponível no Apêndice E, foi impresso e entregue aos estudantes.

Na sala de aula, os estudantes responderam individualmente as perguntas, e durante esse processo, foram convidados, em grupos variando entre 5 e 7 pessoas, a se aproximar da mesa da frente onde estava a maquete. Nesse momento, discutimos coletivamente as perguntas do material e esclarecemos dúvidas sobre outros pontos que surgiram à medida que exploravam a maquete, observando seus componentes e seu funcionamento. Posteriormente, os grupos retornaram aos seus lugares para revisar e aprimorar as informações de suas respostas. A construção das hipóteses pelos estudantes foi crucial para dar continuidade à SEI nas próximas etapas.

5.4.4.3 Sistematização do Conhecimento

Após a conclusão da primeira etapa da SEI, avançamos para a segunda etapa – Sistematização do Conhecimento. Neste momento, disponibilizamos aos alunos um material de leitura que apresenta um resumo sobre aceleradores de partículas, destacando o brasileiro Sirius e especificando alguns de outros países (Apêndice H). Em seguida, os estudantes responderam a atividade da SD, intitulada “Glossário”. O objetivo dessa atividade foi aprimorar a compreensão das partes que compõe o acelerador e sistematizar termos e conceitos com base na leitura dos textos e nas discussões durante a etapa 1 da SEI.

Ainda dentro da etapa 2 da SEI, após a atividade “Glossário”, os estudantes desenvolveram outra atividade intitulada “Compreensão e Sumário”. Esta atividade teve como objetivo proporcionar aos estudantes a oportunidade de expressar suas ideias de forma mais completa e flexível, promovendo diferentes perspectivas e opiniões de maneira ativa sobre a

temática abordada. Utilizamos o Padrão de Argumento de Tolmin (TAP) para analisar a estrutura argumentativa dos alunos.

5.4.4.4 Tratamento e Análise dos Dados com o uso da TAP

Na elaboração dos instrumentos para coleta de dados sobre percepções, estratégias e hipóteses dos estudantes durante a intervenção didática, propusemos atividades para cada etapa da SEI, incluindo roteiros e questionários com espaços para preenchimento das respostas dos estudantes, que serviram como objeto de análise, como na atividade “Compreensão e Sumário”.

Após a coleta da atividade anterior, dedicamos um período ao desenvolvimento do texto reflexivo e avaliativo sobre as respostas dos estudantes e os resultados da intervenção didática. Utilizamos o Padrão de Argumento de Toulmin (TAP, do Inglês Toulmin's Argument Pattern), como proposta de análise estrutural nesta atividade, distinguindo os diferentes componentes que constituem um argumento.

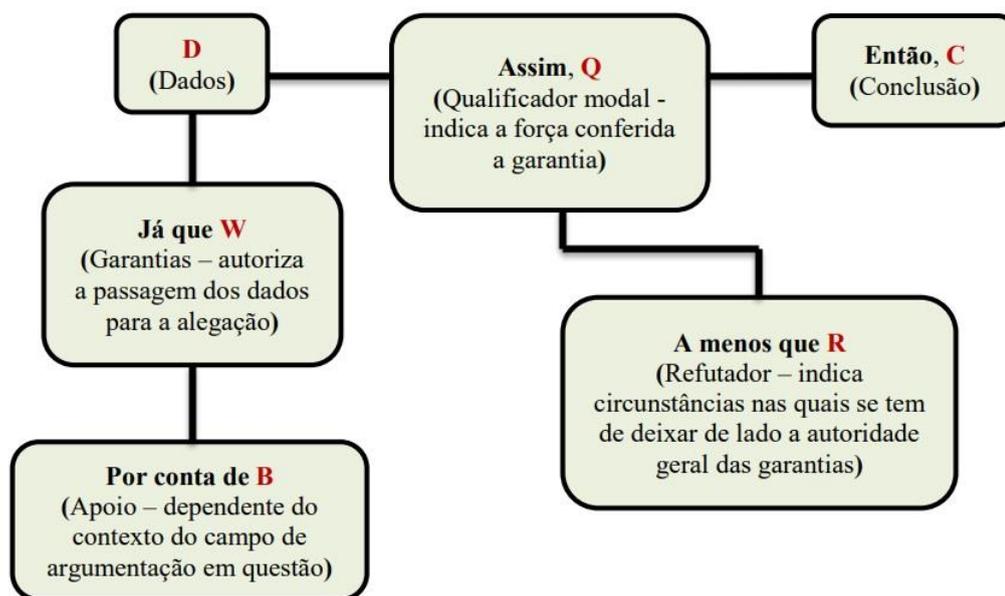
Em 1958, Toulmin publicou “Os Usos do Argumento”, apresentando seu padrão de argumento baseado no argumento jurídico. Sua proposta visava criar um instrumento com um padrão de interpretação estrutural e lógica para validar ou não um argumento. Ele buscou analisar o processo que estabelecesse um caminho lógico entre a produção de um argumento e sua conclusão. Ele parte da ideia de que uma assertiva feita depende de uma constatação. A TAP destacou-se não apenas no campo jurídico, mas também foi amplamente reconhecido e aplicado no Ensino de Ciências (Erduran, 2008; Sasseron e Carvalho, 2011).

De acordo com Toulmin, os fatos que apoiam essa constatação são os dados (D), fundamentos que sustentam o suporte à conclusão (C). Os dados são insuficientes para validar a conclusão, sendo necessárias informações adicionais para relacionar D e C. Essas informações adicionais são as garantias (G), afirmações gerais e hipotéticas que explicam a transição dos dados para a conclusão.

O autor ressalta as situações em que dados, garantia e conclusão não são suficientes para tornar o argumento aceito. Nessas circunstâncias, um qualificador modal (Q) é proposto, tornando-se a "força que a garantia empresta à conclusão". O qualificador modal, geralmente um advérbio, valida a conclusão obtida. Por outro lado, as condições de exceção ou refutação (R) enfraquecem a garantia, contestando as suposições por ela criadas. O conhecimento básico (B) é apresentado como o elemento que confere aval e autoridade às garantias (Toulmin, 2006).

A partir dessas ideias, Toulmin apresenta o padrão que confere uma forma ao argumento, como ilustrado na Figura 19:

Figura 19 - Modelo padrão de argumentação de Toulmin.



Fonte: Toulmin, 2006.

Portanto, a TAP oferece uma estrutura analítica robusta para a avaliação de argumentos, particularmente no contexto da pesquisa científica e educacional. Ao destacar elementos como dados, garantias, conclusão, qualificador modal, condições de exceção e conhecimento básico, Toulmin proporciona uma abordagem abrangente para entender a construção e a validade dos argumentos. Essa metodologia não apenas auxilia na análise estrutural, mas também enfatiza a importância do suporte factual, garantindo a transparência e a solidez dos argumentos apresentados (Erduran, 2008; Sasseron e Carvalho, 2011). A aplicação da TAP na pesquisa descrita permitiu uma avaliação criteriosa das percepções dos estudantes, enriquecendo a compreensão dos resultados da intervenção didática e fortalecendo a fundamentação teórica da abordagem adotada.

5.4.4.5 Processo de Contextualização do Conhecimento do Ponto de Vista Social

Nesta etapa, trouxemos um artigo que tem como título “Superlaboratório Sirius ajuda a revelar detalhes inéditos de reprodução do vírus da Covid-19”, com uma questão subsequente baseada na leitura deste artigo (Apêndice I). Esta atividade visou tornar a compreensão da importância do acelerador de partículas brasileiro e o conhecimento sobre a luz síncrotron relevante e aplicável a um contexto específico e recente.

A perspectiva social de Carvalho (2013) destaca a importância dessa etapa da SEI na conexão entre aprendizado e questões práticas do cotidiano facilitando a compreensão e a

aplicação do conhecimento na resolução de problemas sociais. No contexto da pesquisa sobre a Covid-19, o papel crucial do laboratório Sirius amplia essa abordagem ao relacionar informações sobre o vírus com situações cotidianas, fortalecendo a compreensão e proporcionando uma base sólida para enfrentar a pandemia.

A aplicação da luz Síncrotron para estudar a estrutura da proteína do vírus exemplifica como a tecnologia pode aprimorar a contextualização do conhecimento, oferecendo uma visão prática e inovadora. Ao elaborar esta etapa de contextualização da TAP, focada no estudo da Covid-19, a expectativa era não apenas fortalecer a compreensão acadêmica, mas também preparar indivíduos para enfrentar desafios complexos, promovendo uma aplicação eficaz do conhecimento em benefício da sociedade.

5.4.4.6 Aprofundamento dos Conteúdos

Após a atividade de contextualização, seguimos a intervenção didática com a parte de aprofundamento dos conteúdos, também pertencente a terceira etapa da SEI. Para isso, foi realizada uma atividade intitulada “Luz síncrotron e o acelerador de partículas Sirius: fato ou ficção” (Apêndice J). Nessa atividade, os estudantes avaliaram assertivas como verdadeiras ou falsas, permitindo uma análise rápida e aprofundamento nos conhecimentos do tema. Essa atividade marcou o encerramento da intervenção no primeiro dia.

No segundo dia, iniciamos com três vídeos sobre a construção e funcionamento do Sirius. Posteriormente, os estudantes realizaram a atividade “Radiação eletromagnética da luz síncrotron”, composta por quatro questões. Optamos por não analisar essa atividade, considerando mais adequada para estudantes do Ensino Médio.

Os estudantes, em seguida, realizaram a leitura de um texto fictício, desenvolvido pelo pesquisador, que relata uma reforma na igreja histórica de Igarassu-PE (Apêndice J), em paralelo ao recebimento de material sobre linhas de luz e técnicas experimentais do Sirius. A atividade propôs que escolhessem uma linha de luz e técnicas experimentais do acelerador Sirius para estudar cerâmicas encontradas na reforma da igreja.

5.4.4.7 Avaliação Final

No desenvolvimento da intervenção didática, optamos por realizar uma avaliação final composta por duas questões abertas. O objetivo foi verificar a compreensão dos estudantes, avaliar se adquiriram conhecimentos e habilidades sobre a temática abordada e identificar possíveis indícios de Alfabetização Científica (AC).

A primeira questão da avaliação solicitava que os estudantes redigissem um texto explicando o que é um acelerador de partículas e como é gerada a luz Síncrotron. O intuito dessa atividade, que em primeiro momento pode parecer algo repetitivo, é analisar se os estudantes desenvolveram a capacidade de expressar os conhecimentos adquiridos e avaliar a clareza na exposição, a precisão conceitual e a capacidade de articular ideias de forma clara e compreensível sobre o funcionamento do acelerador de partículas.

Ao abordar a pergunta sobre os benefícios que o acelerador Sirius poderia trazer para a população brasileira, como segunda pergunta, era esperado que os estudantes destacassem uma compreensão sólida dos impactos positivos dessa infraestrutura avançada. Os alunos poderiam explorar como as pesquisas realizadas no Sirius podem ter aplicações práticas na saúde, como avanços em diagnósticos e tratamentos médicos. Além disso, ao abordar o viés da AC, os estudantes poderiam considerar como o conhecimento gerado pelo Sirius pode ser divulgado à população, aumentando a conscientização e o entendimento geral sobre ciência e tecnologia.

5.4.4.8 Tratamento e Análise dos Dados com Base nos Indicadores de AC

Para analisar o desenvolvimento da Alfabetização Científica (AC) nos estudantes durante a avaliação final, adotamos os indicadores propostos por Sasseron (2008), buscando uma abordagem holística em Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA). Os indicadores utilizados abrangem a capacidade de Articular Ideias, Investigar, Argumentar, Ler em Ciências, Escrever em Ciências, Problematizar, Criar e Atuar (Pizarro; Lopes, 2015).

A AC, fundamental na Sociedade Contemporânea, refere-se à habilidade das pessoas compreenderem, interpretarem e aplicarem conhecimentos científicos no cotidiano (Sasseron e Carvalho, 2011). Sua evolução ao longo do tempo é destacada por Sasseron (2011), considerando os avanços científicos e tecnológicos que moldam sua definição.

A AC, conforme Lorenzetti e Delizoicov (2001), associa o conhecimento científico à compreensão do universo do aluno, considerando práticas sociais. Sasseron e Carvalho (2011) a caracterizam como um processo em que o estudante adquire habilidades científicas integradas ao seu universo.

Calasso e Sobrinho (2019) reconhecem a importância da AC na ampliação das discussões sociais. Enquanto Sousa et al. (2021) ressaltam que a AC vai além da leitura e escrita, abrangendo compreensão dos princípios científicos e capacidade de decisão em questões de ciência e tecnologia. Nesse contexto, a BNCC destaca a necessidade de estimular, por meio da AC, a formação de alunos capazes de compreender, interpretar e aplicar conhecimentos

científicos e enfatiza que AC não se resume a memorização, mas inclui raciocínio, questionamento e tomada de decisões (Brasil, 2018). Pizarro e Lopes (2015) propõem indicadores adequados ao contexto escolar, visando ações alinhadas à CTSA.

5.4.4.9 Reflexões sobre a Intervenção Didática com os Estudantes do Ensino Superior

Posteriormente a avaliação final, foi solicitado aos estudantes que elaborassem um resumo expressando seu ponto de vista sobre a sequência didática, apontando pontos positivos, negativos e sugerindo possíveis melhorias. O feedback dos alunos sobre a sequência didática desenvolvida com eles, abordando a temática dessa pesquisa, foi crucial para aprimorar a qualidade do ensino.

Esse retorno direto dos estudantes oferece percepções valiosas sobre a metodologia de ensino utilizada, nessa intervenção, para a luz síncrotron e o acelerador de partículas Sirius. Permite avaliar a clareza dos conceitos apresentados, a relevância dos materiais utilizados e a efetividade das atividades propostas. Além disso, o feedback dos alunos contribui para ajustes no conteúdo, na abordagem pedagógica e na identificação de eventuais desafios de compreensão. Dessa forma, promove-se uma adaptação contínua, garantindo que a sequência didática atenda às necessidades e expectativas dos estudantes, otimizando assim o processo de aprendizagem.

Portanto, a metodologia adotada neste trabalho, ao detalhar o processo de validação da Sequência Didática (SD) sobre a luz síncrotron e o acelerador de partículas Sirius, demonstra uma abordagem robusta e criteriosa. A utilização do Google Formulários para a coleta de dados junto aos professores e estudantes evidencia uma integração eficiente de ferramentas tecnológicas na pesquisa educacional. A aplicação do Teste Diagnóstico, seguido pela condução da Sequência de Ensino Investigativo (SEI) em etapas distintas, revela uma estratégia bem delineada para promover a compreensão dos conceitos científicos.

A incorporação do Padrão de Argumento de Toulmin e dos indicadores de Alfabetização Científica na análise dos dados destaca uma preocupação holística com o desenvolvimento cognitivo e a capacidade argumentativa dos estudantes. A interligação entre teoria e prática, aliada à busca contínua por aprimoramento, ressalta a relevância e o rigor científico desta abordagem metodológica na promoção do ensino e aprendizagem de temas complexos no contexto da luz síncrotron e do acelerador Sirius.

A importância do feedback dos alunos destaca-se como um elemento-chave para aprimorar continuamente a abordagem. Em síntese, a metodologia adotada visa não apenas transmitir conhecimento, mas também promover o desenvolvimento da Alfabetização Científica.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados provenientes da utilização da Sequência de Ensino Investigativo (SEI) como uma ferramenta para a construção de uma Sequência Didática (SD) sobre a radiação eletromagnética da luz síncrotron e o acelerador de partículas brasileiro Sirius. A pesquisa foi desenvolvida em duas fases: (1) validação da SD pelos professores participantes da Escola Sirius para Professores do Ensino Médio (Prof. ESPEM) e (2) Intervenção Didática (ID) com os estudantes do Ensino Superior (Est.). Logo, ao longo deste capítulo foram feitas considerações sobre a SD oriundas das compreensões adquiridas ao longo da nossa experiência de validação e utilização dessa proposta, bem como das potencialidades e das limitações que emergem da SD proposta.

Como foi explicado no capítulo anterior intitulado Metodologia, a SD foi construída com base nos quatro procedimentos metodológicos a partir dos elementos da SEI, tais como: (1) o Problema Experimental ou Teórico, (2) a Sistematização do Conhecimento, (3) a Contextualização e Aprofundamento do Conteúdo e (4) as Práticas Inovadoras de Avaliação. Os resultados serão apresentados em duas seções. Na primeira (seção 6.1) apresentaremos os resultados da validação da SD com os Prof. ESPEM. Na segunda (seção 6.2) apresentaremos os dados obtidos da ID com os estudantes.

6.1 Validação da Sequência Didática com os Professores participantes da ESPEM

Essa primeira parte do trabalho contou com a participação de vinte e nove professores da Educação Básica, de todas as regiões do país, que participaram da Escola Sirius para professores do Ensino Médio (ESPEM) da edição 2021 e 2023 (terceira e quinta edição respectivamente), sendo considerados os dados da totalidade desses professores. Foi realizada a partir do Instrumento Avaliativo da Sequência Didática (Apêndice C) construído pelo pesquisador, constando de quatro blocos, seguindo as quatro etapas da SEI, com perguntas fechadas e abertas, possibilitando aos professores não só responder objetivamente como tecer comentários em cada pergunta.

Os professores responderam às questões individualmente. Desse modo, eles foram convidados a utilizar suas experiências em sala de aula (que varia entre 7 e 30 anos) e na sua participação na ESPEM para avaliar a SD construída. O questionário ficou disponível durante 20 dias e foi enviado, através de um link no Google Formulário, pelo WhatsApp para cada professor(a).

A primeira página do questionário versa sobre o convite e as informações gerais aos professores para participarem da pesquisa. Nesta página também é apresentado o Termo de Consentimento e Livre Esclarecido (TCLE) no qual descreve o processo completo da investigação que serão submetidos e informações sobre os riscos e benefícios da sua participação, além de conter os princípios fundamentais para garantir a ética e a sua integridade. Todos (100%) concordaram na participação voluntária da pesquisa. No Quadro 5, são apresentadas informações detalhadas sobre o perfil de cada professor (P).

Quadro 5 – Perfil dos Professores Avaliadores.

Professores	Área de Atuação	Estado em que Leciona	Tempo de Experiência Docente
P1.	Física	Pernambuco	15 anos
P2.	Química	Paraíba	7 anos
P3.	Física	Maranhão	13 anos
P4.	Biologia	São Paulo	20 anos
P5.	<i>Não respondida!</i>	Acre	5 anos
P6.	Física	São Paulo	5 anos
P7.	Física	Goiás	17 anos
P8.	Física	Santa Catarina	3 anos
P9.	Física	São Paulo	13 anos
P10.	Física	Roraima	20 anos
P11.	Física	Paraíba	25 anos
P12.	Química	Goiás	30 anos
P13.	Física	Rio Grande do Sul	9 anos
P14.	Biologia	Ceará	8 anos
P15.	Biologia	Mato Grosso do Sul	7 anos
P16.	Física	Bahia	24 anos
P17.	Física	Mato Grosso	25 anos
P18.	Química	São Paulo	12 anos
P19.	Química	Amazonas	3 anos
P20.	Física	São Paulo	30 anos
P21.	Física	Rio Grande do Sul	23 anos
P22.	Química	Amapá	25 anos
P23.	Física	Goiás	8 anos
P24.	Química	Paraíba	15 anos
P25.	Física	São Paulo	12 anos
P26.	Biologia	Rondônia	15 anos
P27.	Química	Espírito Santo	3 anos
P28.	Física	Bahia	10 anos
P29.	Biologia	Tocantins	24 anos

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Dos 29 participantes dessa fase da pesquisa, 28 responderam à pergunta sobre a área de atuação. Foi observado um predomínio na formação em Física (51,7%), enquanto Química (24,1%) e Biologia (17,2%) aparecem com um percentual menor. De acordo com Acioly (2021), dentre alguns critérios para a seleção dos professores da ESPEM como o equilíbrio por regiões do Brasil, a divisão das vagas por gênero e prioridades para professores que atuam em

escolas estaduais e municipais, também foram utilizados para classificar os candidatos: a participação em eventos organizados e apoiados pela Sociedade Brasileira de Física (SBF) e que tenham ligação com o ensino, ou apoiados por outras instituições, como a Olimpíada Brasileira de Física (OBF), Olimpíada Brasileira de Física das Escolas Públicas (OBFEP), a Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA) e a Mostra de Foguetes (MOBFOG).

A primeira (2019) e a segunda (2020) edição da ESPEM foram direcionadas apenas para professores de Física da Educação Básica (Acioly et al., 2020). Já a terceira (2021) e quarta (2022) edição abrangeram professores de Biologia, Física, Química, estudantes de licenciatura e professores de outros segmentos (Ensino Fundamental e Ensino Superior), devido ao fato dessas edições terem sido realizadas de forma remota devido à pandemia da covid. A quinta edição (2023) foi voltada para professores de Física, Química e Biologia, preferencialmente do Ensino Médio.

6.1.1 Análise dos Resultados do Primeiro Bloco Avaliativo

O Primeiro Bloco Avaliativo, corresponde a primeira etapa da SEI: problema experimental ou teórico, com cinco perguntas, com a primeira constando de três opções de resposta (Totalmente Adequadas, Parcialmente Adequadas e Inadequadas) e as outras quatro com também três opções de resposta (Concordo Totalmente, Concordo Parcialmente e Discordo), além de um espaço em cada pergunta para que os professores possam fazer comentários que acharem necessários.

Na primeira pergunta, buscamos analisar se os objetivos de ensino e aprendizagem auxiliam na proposição do problema a ser investigado. Para isso, os professores deveriam analisar se há coerência entre os objetivos de ensino e aprendizagem (OEA) e as ações didáticas (AD) referente a SD construída (Quadro 6).

Quadro 6 – Relação dos OEA em relação a AD do bloco 1.

<p>Objetivos de Ensino e Aprendizagem (OEA):</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ OEA1. Criar um ambiente favorável para a realização das atividades; ➤ OEA2. Proporcionar as primeiras percepções dos estudantes acerca de um acelerador de partículas; ➤ OEA3. Promover o problema experimental ou teórico, que é a primeira etapa da SEI, no intuito de iniciar as reflexões dos estudantes na construção do conhecimento; ➤ OEA4. Conduzir os estudantes na tomada de consciência, na construção das ideias e na construção das evidências sobre o funcionamento do acelerador de partículas.
<p>Ações Didáticas (AD):</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ AD1. Organizar a sala dos discentes, onde será desenvolvida a intervenção, em círculos, de forma que possam ver uns aos outros de frente. ➤ AD2. Mostrar a maquete do acelerador de partículas desligado para que os estudantes olhem com atenção os componentes e toda a estrutura da maquete. ➤ AD3. Colocar a maquete para funcionar e, com o uso do potenciômetro, aumentar aos poucos, a frequência de mudança dos Leds para dar a ilusão que a luz está se movimentando dentro do tubo, até atingir sua velocidade máxima. ➤ AD4. Aplicar as questões problematizadoras.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

A análise da primeira pergunta revela uma forte concordância, com 86,7% dos professores considerando as ações didáticas propostas para a primeira etapa da SEI como adequadas aos objetivos de ensino e aprendizagem. A minoria, representada por 10%, vê essas ações como parcialmente adequadas, enquanto apenas 3,3% as consideram inadequadas. Esses resultados indicam um consenso significativo sobre a coerência entre os objetivos e as ações didáticas, sugerindo uma eficácia percebida na relação entre ambos.

O Quadro 7, está sintetizado as perguntas (da segunda a quinta) feitas aos Prof. ESPEM com seus respectivos resultados estatísticos.

Quadro 7 – Resultados estatísticos da OEA em relação as AD na primeira etapa da SEI.

Perguntas		Concordo Totalmente	Concordo Parcialmente	Discordo
1.	Relação dos OEA em relação a AD do bloco1 (Quadro 6)	-	-	-
2.	A maquete tem potencial pedagógico para auxiliar e promover a discussão do acelerador de partículas	89,7%	10,3%	-
3.	As questões problematizadoras têm potencial para promover a construção de ideias	92,9%	7,1%	-
4.	A sequência das ações tem coerência e estão adequadas ao objetivo dessa primeira etapa	93,1%	6,9%	-
5.	O tempo para esta etapa está adequado	58,6%	41,4%	-

Fonte: Autoria Própria, 2023.

A segunda questão se refere ao uso da Maquete como ferramenta didática. Foi perguntado aos professores se a maquete tem potencial pedagógico para auxiliar e promover a discussão do acelerador de partículas. A avaliação indica que a maquete possui um forte potencial pedagógico, com 89,7% dos professores concordando totalmente e apenas 10,3% concordando parcialmente. Essa maioria expressiva sugere que a maquete é percebida como uma ferramenta eficaz para auxiliar e promover a discussão sobre o acelerador de partículas, contribuindo positivamente para o ambiente educacional.

No Quadro 8, é possível observar os comentários dos Prof. ESPEM sobre este item. Os comentários refletem uma avaliação positiva geral da proposta/sequência didática. O professor *P1* destaca a excelência da proposta, especialmente ao utilizar a maquete para evidenciar o avanço científico do Brasil. No entanto, o professor *P2* sugere incluir um passo-a-passo para a construção da maquete, facilitando a replicação por outros professores. O professor *P4* aponta a oportunidade de estabelecer uma conexão mais clara entre a maquete e o acelerador, indicando que os estudantes podem compreender como funciona a maquete, mas não necessariamente o acelerador real. Esses “insights” fornecem perspectivas valiosas para aprimorar a proposta didática.

Quadro 8 – Comentários dos Prof. ESPEM referente ao uso da Maquete (Questão 2).

Comentários dos Prof. ESPEM	
P1.	<i>“A proposta/sequência didática é excelente, principalmente no uso da maquete em mostrar que o Brasil faz e tem ciência de ponta”</i>
P2.	<i>“Senti falta de colocar um passo-a-passo para a construção da maquete, para que qualquer professor, que tenha acesso a sequência didática, possa construir”</i>

P4.	<i>“Acredito que este momento poderia ser utilizado também para fazer uma relação da maquete com o acelerador, por que tive a impressão que os estudantes poderão ter uma noção de como funciona a maquete, mas não como funciona um acelerador real”</i>
------------	---

Fonte: Aatoria Própria, 2023.

Na terceira pergunta, foi abordado o que definimos como Questões Problematizadoras (Apêndice E). Essas perguntas servem para nortear o que na SEI é definida como a primeira etapa. A análise dos resultados indica que a maioria dos professores (92,9%) concorda que as questões problematizadoras têm potencial para promover a construção de ideias. Apenas 7,1% expressam uma concordância parcial. Essa alta porcentagem de concordância sugere que as questões problematizadoras são percebidas como eficazes na promoção da construção de ideias no contexto educacional.

No Quadro 9, destacamos os comentários dos professores sobre este item.

Quadro 9 – Comentários dos Prof. ESPEM referente as Questões Problematizadoras (Questão 3).

Comentários dos Prof. ESPEM	
P1.	<i>“Acredito que a questão 3 poderia ser informativa e interrogativa, por exemplo, caso os estudantes nunca tenham ouvido falar de um acelerador de partículas, perguntar se no Sirius, em Campinas, qual é o componente responsável por aumentar a velocidade da partícula”</i>
P2.	<i>“Talvez, fosse interessante na questão 3 uma pergunta como: no Brasil, existe um acelerador de partículas, localizado na cidade de Campinas, São Paulo. Assim, pensando no seu funcionamento, como você acha que uma partícula pode aumentar sua velocidade nesse acelerador?”</i>
P10.	<i>“A profundidade dos questionamentos. Talvez muito específicos para aqueles que nunca tiveram contato com o assunto. Um direcionamento diferente pode ser dado de acordo com as respostas da atividade diagnóstica”</i>

Fonte: Aatoria Própria, 2023.

Os comentários dos professores ESPEM sugerem ajustes nas questões propostas. O professor *P1* destaca a ideia de tornar a Questão 3 informativa e interrogativa, especialmente para estudantes não familiarizados com aceleradores de partículas. O professor *P2* propõe incluir informações sobre o acelerador brasileiro na questão para estimular o pensamento sobre seu funcionamento. Por fim, o professor *P10* menciona que os questionamentos podem ser muito específicos para quem não teve contato prévio com o assunto, sugerindo a possibilidade de adaptação com base nas respostas da atividade diagnóstica. Essas sugestões visam aprimorar a acessibilidade e a profundidade das questões propostas.

Na quarta questão foi questionado se a coerência da sequência das ações estava adequada ao objetivo proposta para esta etapa. Os resultados indicam uma forte concordância (93,1%) entre os professores de que a sequência das ações apresenta coerência e está adequada aos objetivos propostos para esta primeira etapa. Uma minoria (6,9%) expressa uma concordância parcial, sugerindo um consenso significativo sobre o alinhamento das ações com os objetivos definidos.

O Quadro 10 apresenta os comentários dos professores referente a questão 4.

Quadro 10 – Comentários dos Prof. ESPEM referente a sequência das ações (Questão 4).

Comentários dos Prof. ESPEM	
P2.	<i>“A SD proposta com o acelerador é uma excelente proposta no sentido de possibilitar aos professores uma metodologia dinâmica no Ensino de Física e Ciências da Natureza, assim como proporciona aos alunos um ensino mais significativo”</i>
P3.	<i>“Não encontrei informações sobre a série que a sequência será utilizada e o número de aulas necessárias (no arquivo enviado)”</i>
P4.	<i>“Entendo que na proposição da SD seja importante um tópico com os Conceitos Prévios necessários para o entendimento da SEI. Obviamente eles não precisam estar disponíveis aos estudantes, mas para o professor aplicador é importante entender quais conceitos prévios são importantes para o desenvolvimento conceitual adequado de uma SD/SEI”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Os professores elogiaram a proposta da sequência didática (SD) com o acelerador, destacando seu potencial dinâmico para o ensino de Física e Ciências da Natureza, proporcionando aos alunos uma aprendizagem mais significativa, conforme mencionado pelo professor P2.

No entanto, o professor P3 aponta a ausência de informações sobre a série em que a sequência será utilizada e o número de aulas necessárias, considerando esses detalhes essenciais para uma implementação eficaz.

O professor P4 destaca a importância de incluir um tópico sobre Conceitos Prévios na proposição da SD, permitindo ao professor aplicador compreender quais conceitos são fundamentais para o desenvolvimento adequado da sequência, mesmo que esses conceitos não precisem ser disponibilizados aos estudantes. Essas observações fornecem ricas percepções para melhorar e complementar a proposta.

Na quinta questão foi perguntado aos professores se o tempo para esta etapa estava adequado. A análise aponta para uma tendência predominante de "concordo totalmente" (58,6%) em relação ao tempo para esta etapa. No entanto, é notável que o "concordo

parcialmente" atinge um percentual significativo de 41,4%. O destaque para a preocupação com o tempo em 83% dos comentários feitos pelos professores (Quadro 11) ressalta a importância desse aspecto nas percepções gerais sobre a proposta. Essa observação reforça a necessidade de considerar e abordar de maneira mais abrangente as preocupações relacionadas ao tempo na SD.

Quadro 11 – Comentários dos Prof. ESPEM referente ao tempo na primeira etapa da SEI (Questão 5).

Comentários dos Prof. ESPEM	
P1.	<i>“Acredito que o tempo estabelecido pode prejudicar a sequência didática, tendo em vista que em uma classe comum teremos normalmente alunos com dificuldades no processo de aprendizagem, necessitando de um tempo maior do professor no processo de mediação”.</i>
P2.	<i>“O tempo para o desenvolvimento e aplicação da Sequência Didática (SD) deve levar em consideração as particularidades de cada região e o nível em que se encontram os alunos pois, dependendo da situação será necessário realizar uma ação intermediária a fim de que os mesmo possam adquirir os conhecimentos esperados com a SD”.</i>
P4.	<i>“Para aulas cuja duração é 50 minutos, o tempo destinado está perfeito, no então, se a aula for mais curta ou com turmas mais agitadas talvez seja necessário um pouco mais de tempo, haja vista que aspectos burocráticos como chamada, preenchimento de diário, devem ser contabilizados também”</i>
P5.	<i>“O contexto traz detalhes, esclarecimentos, apenas acredito que o tempo do professor é o apresenta maior dificuldade”</i>
P8.	<i>“Sendo aplicada para uma sala de aula de 3ª série (do Ensino Médio), a sequência didática está coerente. Porém, para uma sala de aula onde os estudantes apresentem pouca maturidade, seria necessário um pouco mais de tempo”</i>
P9.	<i>“Pensando no fato de que os estudantes, em sua maioria, desconhecem totalmente o assunto talvez o tempo tenha que ser maior”</i>
P10.	<i>“Pra mim não ficou claro no texto da sequência didática o tempo disponível para cada etapa (acredito que deva ser inserido).”</i>
P11.	<i>“O tempo é sempre um fator complicado, pois sempre pode haver imprevistos. Desconsiderando quaisquer problemas, o tempo parece razoável”</i>
P13.	<i>“Sobre o tempo de execução, acredito que ele poderia ser maior, uma vez que elementos essenciais precisariam ser conhecidos e seu funcionamento compreendido pelos alunos”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Os comentários dos professores destacam a importância do tempo na aplicação da Sequência Didática (SD). Alguns apontam para a necessidade de considerar a diversidade de alunos e as dificuldades de aprendizagem, sugerindo que o tempo estabelecido pode ser insuficiente para atender a todas as necessidades. Outros ressaltam a importância de adaptar o tempo de acordo com o contexto específico da turma e considerar fatores como aulas mais curtas ou alunos menos maduros. Há também menções à clareza na comunicação do tempo disponível em cada etapa da SD e a necessidade de prever imprevistos. Essas análises indicam

a complexidade do desafio temporal na implementação da SD e ressaltam a importância de considerar a diversidade de contextos e necessidade dos alunos.

6.1.2 Análise dos Resultados do Segundo Bloco Avaliativo

Semelhante ao primeiro bloco, o Segundo Bloco Avaliativo se refere a segunda etapa da SEI: Sistematização do Conhecimento, composta de três perguntas, em que a primeira traz três opções de resposta (Totalmente Adequadas, Parcialmente Adequadas e Inadequadas) e as outras duas questões com também três opções de resposta (Concordo Totalmente, Concordo Parcialmente e Discordo), com espaço em cada pergunta para os professores escreverem seus respectivos comentários e sugestões.

Análogo ao primeiro bloco, buscamos refletir se os objetivos de ensino e aprendizagem auxiliam na proposição do problema a ser investigado. Para isso, na primeira pergunta, os professores deveriam analisar as OEA em relação as AD (Quadro 12).

Quadro 12 – Relação dos OEA com as AD do Bloco 2.

<p>Objetivos de Ensino e Aprendizagem (OEA):</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ OEA1. Promover a interação, entre os pares, das percepções dos estudantes da etapa anterior. ➤ OEA2. Promover o entendimento e qual a função das peças da maquete que representa o acelerador de partículas Sirius.
<p>Ações Didáticas (AD):</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ AD1. O professor irá promover a leitura das respostas individuais dos estudantes bem como ouvir as suas justificativas. ➤ AD2. O professor irá repassar aos estudantes todo o processo de resolução das questões, de forma científica, mais conceitual e mais sistematizada

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Os resultados indicam uma forte concordância entre os professores (93,1%) em relação à coerência das ações didáticas propostas para a segunda etapa da SEI com os objetivos de ensino e aprendizagem. A baixa porcentagem de respostas parcialmente adequadas (6,9%) e nenhuma resposta inadequada (0,0%) sugere um consenso significativo sobre o alinhamento entre os objetivos e as ações didáticas propostas para essa fase da sequência. O quadro 13, está sintetizado as perguntas (segunda e terceira) feitas aos Prof. ESPEM com suas respectivas respostas.

Quadro 13 – Resultados estatísticos da OEA em relação as AD na segunda etapa da SEI.

Perguntas		Concordo Totalmente	Concordo Parcialmente	Discordo
1.	Relação dos OEA em relação a AD do bloco2 (Quadro 12)	-	-	-
2.	A resolução das questões problematizadoras estão de acordo com o que está na literatura	96,6%	3,4%	-
3.	O tempo para esta etapa está adequado	63,3%	36,7%	-

Fonte: Aatoria Própria, 2023.

A segunda questão se refere a resolução das questões problematizadoras. Foi perguntado aos professores se a resolução dessas perguntas estão de acordo com o que está na literatura. A avaliação revela uma forte concordância entre os professores, com 96,6% afirmando que a resolução das questões problematizadoras está de acordo com o que está na literatura. A minoria, representada por 3,4%, expressa uma concordância parcial. Essa alta porcentagem de concordância sugere que a resolução proposta alinha-se de maneira consistente com o conhecimento disponível na literatura sobre o tema. No quadro 14, alguns comentários fortalece os resultados estatísticos do quadro 13.

Quadro 14 – Comentários dos Prof. ESPEM referente a resolução das questões problematizadoras.

Comentários dos Prof. ESPEM	
P2.	<i>“O formato circular serve para aumentar gradualmente a velocidade das partículas através das bobinas”</i>
P5.	<i>“Adequado”</i>
P7.	<i>“Foi bem estruturado, busca conciliar todos os quesitos”</i>

Fonte: Aatoria Própria, 2023.

Os comentários dos professores ESPEM destacam aspectos positivos em relação à resolução das questões problematizadoras. O professor P2 aponta que o formato circular é adequado, pois serve para aumentar gradualmente a velocidade das partículas através das bobinas. O professor P5 expressa uma opinião positiva, afirmando que está adequado. O professor P7 elogia a estrutura da resolução, mencionando que ela foi bem estruturada e busca conciliar todos os quesitos. Essas observações indicam uma recepção favorável à abordagem adotada na resolução das questões problematizadoras, destacando aspectos como a adequação do formato circular e a estrutura geral da explicação.

Na terceira pergunta, foi questionado se o tempo estava adequado para esta etapa. A avaliação apresenta uma maioria de professores (63,3%) considerando-o adequado, enquanto 36,7% expressam que não está adequado. Essa divisão de opiniões destaca a importância de considerar diferentes perspectivas e ajustar a gestão do tempo conforme necessário para atender às diversas necessidades dos estudantes. É perceptível também, por meio dos comentários dos professores (Quadro 15), a reiterada preocupação em relação ao tempo destinado a esta etapa.

Quadro 15 – Comentários dos Prof. ESPEM referente ao tempo no segundo bloco.

Comentários dos Prof. ESPEM	
P2.	<i>“Como envolve discussão entre os estudantes, talvez fosse interessante pelo menos uma hora e meia”</i>
P3.	<i>“Acredito que o tempo de 1h para leitura e resolução dos problemas seja curto, a não ser que a sala não tenha muitos alunos”</i>
P4.	<i>“Apesar do tempo estar adequado, a carga horária da disciplina de Física é insuficiente, então sugiro que essa etapa seja realizada na mesma aula anterior (reduzindo a anterior para 1 hora-aula), pois os alunos ainda lembrariam suas respostas”</i>
P8.	<i>“O tempo é sempre algo que não é certo de ter confirmação, pois depende muito do grau de interação dos alunos com a atividade”.</i>
P9.	<i>“Acredito que seriam necessárias 2 horas/aula”</i>
P11.	<i>“Acréscimo de 30 minutos para a discussão e reflexão”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Mais uma vez, os comentários dos professores enfatizam a importância da adequação do tempo para diferentes etapas da SD. Sugestões incluem considerar pelo menos uma hora e meia para discussões entre os estudantes, aumentar o tempo para leitura e resolução de problemas caso a turma seja grande, e ajustar a carga horária da disciplina para permitir uma execução mais eficiente. Além disso, destaca-se a incerteza relacionada ao tempo, ressaltando que a interação dos alunos pode influenciar a dinâmica da atividade. Há também propostas específicas, como acréscimo de 30 minutos para a discussão e reflexão. Essas sugestões visam otimizar o tempo para garantir uma execução mais eficaz da SD.

6.1.3 Análise dos Resultados do Terceiro Bloco Avaliativo

Seguindo a coerência dos dois blocos anteriores, o terceiro bloco se refere a terceira etapa da SEI: Contextualização e Aprofundamento do Conhecimento, constituída de cinco perguntas, em que a primeira apresenta como resposta três opções (Totalmente Adequadas,

Parcialmente Adequadas e Inadequadas) e as outras quatro com também três opções de resposta (Concordo Totalmente, Concordo Parcialmente e Discordo), com espaço em cada pergunta para os professores justificarem e podendo dá sugestões.

Assim como nos dois blocos anteriores, aqui, buscamos refletir se os objetivos de ensino e aprendizagem auxiliam na proposição do problema a ser investigado. Para isso, na primeira pergunta, os professores deveriam analisar as OEA em relação as AD (Quadro 16).

Quadro 16 – Relação dos OEA com as AD do Bloco 3.

<p>Objetivos de Ensino e Aprendizagem (OEA):</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ OEA1. Ir além dos conteúdos estudados e explorados na etapa anterior. ➤ OEA2. Promover a divulgação do Sirius bem como as atividades desenvolvidas nesse espaço. ➤ OEA3. Promover o estudo da Luz Síncrotron e suas aplicações.
<p>Ações Didáticas (AD):</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ AD1. Explorar os conceitos utilizando os dois tipos de materiais didáticos (vídeos e textos de artigos); ➤ AD2. Promover a discussão e o debate durante a exploração do material.

Fonte: Autorial Própria, 2023.

Destacamos que todos os professores concordam totalmente com a relação dos objetivos de ensino e aprendizagem em relação às ações didáticas do bloco 3, demonstrando um consenso integral nesse aspecto.

Quadro 17 – Resultados estatísticos da OEA em relação as AD na terceira etapa da SEI.

	Perguntas	Concordo Totalmente	Concordo Parcialmente	Discordo
1.	Relação dos OEA em relação a AD do bloco 3 (Quadro 16)	-	-	-
2.	O tempo estimado para esta etapa está adequado aos objetivos e as ações propostas	82,8%	17,2%	-
3.	Material de leitura 1 tem potencial pedagógico para promover um aprendizado e divulgação do Sirius e da Luz Síncrotron	96,6%	3,4%	-
4.	O material digital produzido pelo pesquisador tem potencial para aprofundar os conhecimentos do tema abordado	89,7%	10,3%	-
5.	O material digital do CNPEM tem potencial para aprofundar os conhecimentos do tema abordado	96,6%	3,4%	-

Fonte: Autorial Própria, 2023.

Em relação a segunda questão desse bloco, foi perguntado aos professores se o tempo estimado para esta etapa estava adequado aos objetivos e as ações propostas. A avaliação revela que a maioria dos professores (82,8%) considera-o adequado aos objetivos e ações propostas. No entanto, 17,2% expressam que o tempo não está adequado. Essa divisão de opiniões destaca a importância de equilibrar o tempo disponível com os objetivos e atividades planejados, levando em conta as diversas necessidades e dinâmicas da sala de aula. No Quadro 18, têm-se os comentários dos professores referente ao tempo para esta etapa.

Quadro 18 – Comentários dos Prof. ESPEM referente ao tempo do bloco 3.

Comentários dos Prof. ESPEM	
P7.	<i>“Por causa do tempo, algumas atividades poderiam ser indicadas para casa”</i>
P9.	<i>“Aumentar o tempo”</i>
P10.	<i>“Sugestão de reduzir o número de material e reservar um tempo para discussão em sala de aula com os alunos, ou então colocar alguns como atividade a ser realizada em casa e a socialização na sala de aula”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Os comentários dos professores da ESPEM indicam preocupações com o tempo disponível para as atividades. O professor *P7* sugere transferir algumas atividades para casa devido às restrições de tempo. Por outro lado, os professores *P9* e *P10* expressam a necessidade de aumentar o tempo disponível, com sugestões específicas de reduzir o número de materiais ou reservar tempo para discussões em sala de aula. Além disso, a ideia de atribuir algumas atividades para casa e realizar a socialização na sala de aula é sugerida como uma alternativa pelo professor *P10*. Essas observações ressaltam a importância do gerenciamento eficiente do tempo nas atividades propostas.

No quadro 19, os comentários dos professores se refere ao material de contextualização e aprofundamento selecionados para essa etapa da SEI.

Quadro 19 – Comentário dos Prof. ESPEM referente ao material de contextualização e aprofundamento.

Comentários dos Prof. ESPEM	
P1.	<i>“A sequência é bem dinâmica”</i>
P2.	<i>“Aqui uma sugestão, seria interessante utilizar o Sirius 360° disponibilizado no site do CNPEM, onde se pode fazer uma visita virtual ao acelerador”</i>
P4.	<i>“Algumas atividades poderiam ser indicadas para casa”</i>

P5.	<i>“Novamente, insisto na questão dos conceitos prévios necessários à aplicação da SD/SEI. Neste caso da contextualização e aprofundamento, tais aspectos devem ser refletidos”</i>
P6.	<i>“Está muito detalhado, fácil de seguir”</i>
P9.	<i>“Achei o material excelente, no entanto, acho muito material a ser trabalhado”</i>
P10.	<i>“Material possibilita trabalhar com temas distantes da maioria dos estudantes do interior do nordeste ou dos grandes centros/cidades brasileiras”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Os comentários dos professores sobre o material de contextualização e aprofundamento, abordam vários aspectos. *P1* destaca a dinamicidade da sequência, enquanto *P2* sugere o uso de recursos online para uma visita virtual. *P4* propõe atividades para serem realizadas em casa, adicionando flexibilidade. *P5* reforça a importância dos conceitos prévios para a aplicação da SD. *P6* elogia a clareza e detalhamento do material, facilitando o acompanhamento. *P9* elogia a qualidade do material, mas expressa preocupação com a quantidade extensa. *P10* observa que o conteúdo pode parecer distante para estudantes de certas regiões.

No geral, os comentários refletem uma apreciação pela dinâmica, clareza e qualidade do material da SD, enquanto também levantam considerações sobre a quantidade de conteúdo, a acessibilidade a recursos e a relevância para diferentes contextos regionais. Essas perspectivas oferecem percepções profundas e enriquecedoras para otimizar a SD, equilibrando abrangência e acessibilidade.

6.1.4 Análise dos Resultados do Quarto Bloco Avaliativo

A última etapa da SEI corresponde as Práticas Inovadoras de Avaliação. Propomos uma avaliação que abranja todo o desenvolvimento da SEI, valorizando as produções escritas dos estudantes, os métodos e, sobretudo, os momentos de diálogos e interações discursivas. Seguindo o padrão, para esse bloco, foram constituídas de nove perguntas, em que a primeira apresenta como resposta três opções (Totalmente Adequadas, Parcialmente Adequadas e Inadequadas) e as outras oito perguntas com também três opções de resposta (Concordo Totalmente, Concordo Parcialmente e Discordo), com espaço em cada pergunta para os professores tecerem comentários se julgarem necessários. Os professores analisaram as OEA em relação as AD (Quadro 20).

Quadro 20 – Relação dos OEA com as AD do Bloco 4.

<p>Objetivos de Ensino e Aprendizagem (OEA):</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ OEA1. Verificar, em cada etapa, se os estudantes conseguiram internalizar os conhecimentos discutidos. ➤ OEA2. Monitorar o progresso dos alunos e identificar quais desafios eles estejam enfrentando à medida que aprendem. ➤ OEA3. Gerar um feedback individual e coletivo dos resultados das avaliações e do progresso de aprendizagem dos estudantes.
<p>Ações Didáticas (AD):</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ AD1. Aplicação de fichas de atividades em cada etapa. ➤ AD2. Discutir os resultados das atividades de forma coletiva. ➤ AD3. Construção de uma devolutiva individual e coletiva com os resultados dos estudantes que participaram da intervenção didática.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Os resultados indicam uma forte concordância entre os professores, com 89,7% considerando totalmente adequadas as ações didáticas propostas na última etapa da SEI em relação aos Objetivos de Ensino e Aprendizagem (OEA). A minoria, representada por 10,3%, afirma que são parcialmente adequadas. Essa alta porcentagem de concordância sugere um consenso significativo sobre a coerência entre os objetivos e as ações didáticas propostas nessa fase da sequência. Em relação as perguntas (da segunda a nona), os resultados são mostrados no Quadro 21.

Quadro 21 – Resultados estatísticos da OEA em relação as AD na quarta etapa da SEI.

	Perguntas	Concordo Totalmente	Concordo Parcialmente	Discordo
1.	Relação dos OEA em relação a AD do bloco 4 (Quadro 20)	-	-	-
2.	As fichas de exercícios, no final de cada atividade, têm potencial de avaliar e diagnosticar o aprendizado dos estudantes	86,2%	13,8%	-
3.	A sequência de atividades têm potencial de criar uma lógica de construção de ideias	93,1%	6,9%	-
4.	As atividades sugeridas têm potencial de estimular e ampliar a visão panorâmica de ensino e aprendizagem	100%	-	-
5.	A atividade 1 – Glossário tem potencial pedagógico para explorar os termos do material de leitura 1	89,3%	10,7%	-

6.	A atividade 2 – tem potencial para explorar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre a luz síncrotron e suas propriedades	92,9%	7,1%	-
7.	A atividade 3 – tem potencial didático de explorar os conteúdos sobre a fonte de luz síncrotron brasileira	96,6%	3,9%	-
8.	A atividade 4 – compreensão e sumário, tem potencial didático para explorar os conteúdos sobre a luz síncrotron e acelerador Sirius	93,1%	6,9%	-
9.	A atividade 5 – linhas e estações experimentais, tem potencial didático para explorar os conteúdos sobre a luz síncrotron e o acelerador Sirius	96,6%	3,4%	-

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Os resultados da avaliação indicam uma forte concordância entre os professores em relação ao potencial pedagógico das atividades propostas. As fichas de exercícios ao final de cada atividade são percebidas por 86,2% dos professores como tendo a capacidade de avaliar e diagnosticar o aprendizado dos estudantes. A sequência de atividades recebe uma alta concordância de 93,1%, sugerindo que há um reconhecimento do potencial dessas atividades em criar uma lógica de construção de ideias.

Todas as atividades sugeridas são unanimemente reconhecidas como tendo o potencial de estimular e ampliar a visão panorâmica de ensino e aprendizagem, obtendo 100% de concordância nesse aspecto.

Analisando a atividade referente ao Glossário, é percebida como tendo potencial pedagógico para explorar os termos do material de leitura 1, com 89,3% de concordância. A atividade 2, voltada para explorar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre a luz síncrotron, é reconhecida por 92,9% dos professores. As atividades 3, 4 e 5, relacionadas à compreensão e sumário, linhas e estações experimentais, respectivamente, todas têm um alto potencial didático, com percentuais variando entre 93,1% e 96,6%.

Essa uniformidade nas respostas sugere que as atividades são percebidas como eficientes na promoção do aprendizado dos estudantes e no alcance dos objetivos pedagógicos propostos.

É possível concluir, observando o Quadro 21, que as atividades propostas na SD foram bem aceitas pelos professores. No Quadro 22, observamos os comentários dos professores referente a esse item.

Quadro 22 – Comentários dos Prof. ESPEM referente as atividades propostas.

Comentários dos Prof. ESPEM	
P1.	<i>“Talvez pudesse criar uma questão eu que pedisse aos estudantes que associasse cada componente da maquete com os componentes do acelerador de partículas localizado em Campinas – São Paulo”</i>
P3.	<i>“A sequência é bem dinâmica e a avaliação poderia seguir esse perfil. Com isso, levaria os alunos a produzirem algo, para sair do lápis e papel. Desse modo, poderia propor um podcast, vídeos de entrevista, simulação de um diálogo e etc, algo dinâmico e criativo como forma de avaliação do conhecimento sobre a temática”</i>
P4.	<i>“Eu sugeriria uma etapa na qual os estudantes, por conta própria, fossem buscar os avanços e descobertas científicas já produzidas pelo Sirius”</i>
P13.	<i>“Sugiro a aplicação na plataforma eletrônica – Kahoot”</i>
P17.	<i>“As atividades poderiam ser realizadas em pequenos grupos, caso a turma seja muito grande, ocorrendo uma discussão em pequenos grupos para depois a interação da turma (etapa posterior). Essa etapa poderia ser realizada em 1 hora-aula, pois temos uma carga horária semanal muito pequena (poderia ser direcionada para disciplinas eletivas)”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Os comentários dos professores ESPEM oferecem valiosas sugestões para aprimorar a proposta de avaliação da última etapa da SEI. O professor *P1* propõe a inclusão de uma questão que estimule os estudantes a associar cada componente da maquete com os elementos do acelerador de partículas em Campinas, São Paulo, fornecendo uma abordagem mais prática e associativa.

O professor *P3* destaca a dinâmica da sequência e sugere uma avaliação que siga esse perfil, incentivando os alunos a produzirem algo mais criativo, como um podcast, vídeos de entrevista ou simulação de diálogo, proporcionando uma avaliação mais dinâmica e alinhada com a natureza da sequência.

O professor *P4* propõe uma etapa em que os estudantes, de forma autônoma, busquem avanços e descobertas científicas já produzidos pelo Sirius, promovendo a autonomia na pesquisa e aprofundamento no tema. O professor *P13* sugere a aplicação da avaliação na plataforma eletrônica Kahoot, adicionando uma abordagem interativa e tecnológica ao processo.

O professor *P17* destaca a possibilidade de realizar as atividades em pequenos grupos, especialmente se a turma for grande, promovendo discussões mais intensas em grupos menores e, posteriormente, a interação com a turma como um todo. Além disso, sugere ajustar o tempo para uma hora-aula, considerando a limitação da carga horária semanal.

Essas sugestões coletivas apontam para a diversificação nas estratégias de avaliação, enfatizando a importância de tornar o processo mais prático, dinâmico e envolvente para os estudantes.

A estrutura do Instrumento de Validação, a princípio, pode parecer algo um pouco repetitivo mas foi fundamental para ter uns resultados mais precisos e uma análise mais detalhada da sequência que foi construída.

De um modo geral, os professores elogiaram a proposta pelo uso da maquete e por destacar a ciência de ponta do Brasil, promovendo um ensino mais significativo. Há também um reconhecimento de que a proposta com o acelerador proporciona uma metodologia dinâmica e significativa para o ensino de Física e de Ciências da Natureza. Além disso, eles ofereceram sugestões construtivas, como a inclusão de conceitos prévios, ajustes no tempo da aula e a redução de materiais para melhor adaptação às realidades dos alunos.

No entanto, alguns professores apontaram que os questionamentos podem ser muito específicos para alunos sem prévio contato com o assunto, sugerindo um direcionamento flexível de acordo com as respostas e expressão preocupação com a quantidade de material a ser trabalhado, considerando-o excelente, mas potencialmente extenso demais para ser totalmente abordado.

Essa primeira fase da pesquisa (Validação com os Prof. ESPEM) foi de grande importância para analisar a SD proposta e fazer os devidos ajustes para garantir que as medições usadas na pesquisa sejam de confiança, precisas e consistentes.

6.1.5 Ajustes e Modificações com Base na Intervenção com os Professores da ESPEM

Após a análise dos resultados com os prof. ESPEM, decidimos fazer algumas modificações na SD, tais como:

- Construímos um guia que detalha a construção da Maquete proposta nesta pesquisa (Apêndice G). Foi utilizado materiais de baixo custo, como mangueira, parafusos, madeira, emborrachado, cola, Leds e fios condutores de eletricidade. Também foi utilizado alguns elementos da Robótica, como a placa de Arduino, que é um microcontrolador programável, e o Software da programação, que é gratuito e chamado de Arduino IDE, permitindo escrever o código que controla os componentes eletrônicos da Maquete. Esse código foi criado pelo próprio pesquisador e está disponível no guia.
- Selecionamos algumas atividades para serem realizadas em casa, pelo estudante, e que na sala de aula seja um espaço para discussões.

- Redução dos textos longos. Segundo Santos (2014), as leituras curtas são uma ótima maneira de envolver os alunos, melhorar suas habilidades de leitura e promover a discussão e análise dos textos.

Sintetizamos, no Quadro 23, as sugestões feitas pelos professores bem como os ajustes que julgamos necessários.

Quadro 23 – Síntese dos comentários e sugestões dos Prof. ESPEM.

Comentários/Sugestões		Ajustes Realizados
1.	Guia de construção da Maquete	Foi construído um guia de trás o passo a passo da construção da Maquete usada na presente pesquisa
2.	Abordagem prévia dos conceitos necessários para a SD	Foi construído um material que aborde, de forma resumida, os conceitos de Ondas, Ótica e Eletromagnetismo, fundamental para a SD
3.	Tempo curto para as etapas da SEI proposta na SD	Foi feito alguns reajustes na SD no intuito de objetivar mas a proposta de intervenção como a retirada e diminuição de alguns textos, materiais para serem lidos e estudados em casa e vídeos curtos, objetivos e sem repetição
4.	Relação entre a Maquete e o Acelerador de Partículas Sirius	Construímos uma atividade em que é possível ligar alguns elementos visto na Maquete com Algumas áreas do Acelerador de Partículas Sirius

Fonte: Autoria Própria, 2023.

6.2 Desenvolvimento da Sequência Didática com Estudantes do Ensino Superior

Após a fase de validação da Sequência Didática (SD) com os Professores participantes da ESPEM (Prof. ESPEM) realizamos, com estudantes do Ensino Superior (Est.), um teste piloto do desenvolvimento da SD construída, como verificado na Figura 20. O objetivo deste teste era vivenciar o planejamento dos quatro momentos da SEI (Problema Experimental ou Teórico, Sistematização do Conhecimento, Contextualização e Aprofundamento do Conhecimento e Práticas Inovadoras de Avaliação) e julgar a necessidade de ajustes ao projeto e no planejamento das ações da intervenção didática (ID).

Figura 20 – Estudantes do Ensino Superior participando do 1º dia da Intervenção Didática.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

A ID ocorreu em duas terças-feiras, em uma turma de didática da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Dos 26 participantes da intervenção didática no primeiro dia, 17 (65,4%) eram do sexo feminino enquanto 9 (34,6%) do sexo masculino, como idades que variam entre 19 e 41 anos. No Quadro 24, são apresentadas as informações mais detalhadas sobre o perfil de cada estudante.

Quadro 24 – Teste diagnóstico realizado com os estudantes do Ensino Superior.

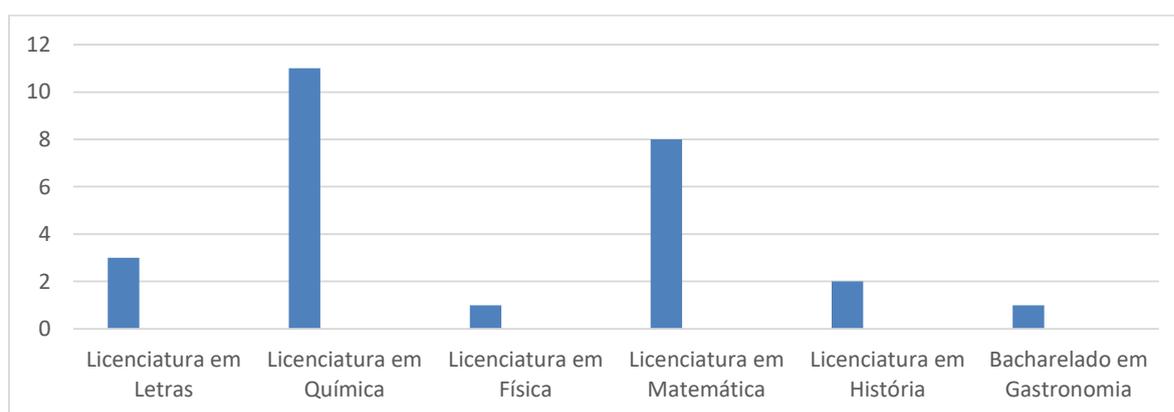
Estudantes	Curso	Período	Sexo	Idade
Est. 1	Licenciatura em Química	4º	Feminino	20 anos
Est. 2	Licenciatura em Química	4º	Feminino	23 anos
Est. 3	Licenciatura em Química	4º	Masculino	21 anos
Est. 4	Licenciatura em Química	6º	Masculino	22 anos
Est. 5	Licenciatura em Química	4º	Feminino	19 anos
Est. 6	Licenciatura em Química	4º	Feminino	21 anos
Est. 7	Licenciatura em Matemática	7º	Masculino	23 anos
Est. 8	Licenciatura em Física	4º	Masculino	21 anos

Est. 9	Licenciatura em Matemática	4º	Masculino	23 anos
Est. 10	Licenciatura em Química	4º	Feminino	19 anos
Est. 11	Licenciatura em Química	4º	Feminino	19 anos
Est. 12	Licenciatura em Matemática	4º	Feminino	26 anos
Est. 13	Licenciatura em Matemática	4º	Masculino	20 anos
Est. 14	Licenciatura em Matemática	2º	Feminino	19 anos
Est. 15	Licenciatura em História	4º	Feminino	22 anos
Est. 16	Licenciatura em História	4º	Feminino	31 anos
Est. 17	Licenciatura em Letras	5º	Feminino	21 anos
Est. 18	Licenciatura em Letras	3º	Feminino	20 anos
Est. 19	Licenciatura em Química	4º	Masculino	22 anos
Est. 20	Licenciatura em Química	4º	Feminino	19 anos
Est. 21	Licenciatura em Química	3º	Feminino	21 anos
Est. 22	Licenciatura em Matemática	3º	Feminino	26 anos
Est. 23	Bacharelado em Gastronomia	8º	Feminino	41 anos
Est. 24	Licenciatura em Matemática	4º	Masculino	25 anos
Est. 25	Licenciatura em Matemática	5º	Feminino	20 anos
Est. 26	Licenciatura em Letras	5º	Masculino	21 anos

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Também foi apontado que esses sujeitos da pesquisa são de vários cursos diferentes (Licenciatura em Letras, Licenciatura em Química, Licenciatura em Matemática, Licenciatura em História, Licenciatura em Física e Bacharelado em Gastronomia) de períodos distintos que variam entre o 2º e 8º período. Observamos, através do Gráfico da Figura 21, a proporcionalidade de estudantes em função de cada curso.

Figura 21 – Quantitativo de estudantes em função de cada curso.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Essa diversidade de cursos, em um primeiro momento, pode parecer desnecessária devido à construção de uma proposta de sequência didática (SD) para ser desenvolvida com os estudantes do Ensino Médio. No entanto, essa abordagem é interessante, pois, conforme

destacado por Coimbra (2023), o acelerador de partículas Sirius é um laboratório multidisciplinar que engloba diversas áreas do conhecimento. Isso possibilita o desenvolvimento de pesquisas diversos campos de estudo.

Por outro lado, acreditamos que, ao considerar a diversidade dos estudantes na pesquisa sobre a SD, é possível identificar potenciais desafios e oportunidades específicas para diferentes grupos. Estudantes de licenciatura em Química, por exemplo, podem ter perspectivas distintas em comparação com aqueles de licenciatura em Matemática ou Letras.

O período do curso também pode influenciar a familiaridade com conceitos físicos relacionado ao tema da pesquisa. Além disso, fatores como idade e sexo podem influenciar a receptividade e a abordagem preferida de aprendizado. Considerar a diversidade não apenas enriquece a análise, mas também permite que a SD seja mais inclusiva, adaptando-se às diferentes necessidades e estilos de aprendizagem presentes no grupo heterogêneo de estudantes.

Portanto, é importante que estudantes de outros cursos também tenham a oportunidade de conhecer o acelerador, não apenas pelos conceitos físicos relacionados à geração da luz síncrotron, mas também por suas aplicações em várias áreas. Dado que nossa pesquisa tem um viés de divulgação científica, acreditamos ser interessante incluir estudantes de diversos cursos no desenvolvimento da SD, como observado no Quadro 22.

6.2.1 Resultados do Teste Diagnóstico

Primeiramente, um teste diagnóstico com cinco perguntas, foi realizado para avaliar os níveis de desenvolvimento e habilidades que identificassem alguns conceitos científicos que pudesse dar ancoragem a alguns conceitos relacionados aos aceleradores de partículas e a luz síncrotron.

No Quadro 25 está sintetizado as perguntas do teste diagnóstico com os respectivos resultados estatísticos dos estudantes.

Quadro 25 – Teste diagnóstico realizado com os estudantes do Ensino Superior.

Perguntas		Sim	Não
1.	<p><i>“Já ouviu falar sobre Ondas Eletromagnéticas? Caso sua resposta tenha sido sim, saberia definir o que são? Conseguiria citar alguns exemplos?”</i></p>	100%	0%

2.	<i>“Você já ouviu falar sobre aceleradores de partículas? Caso sua resposta tenha sido sim, saberia definir o que é?”</i>	80%	20%
3.	<i>“Você já ouviu falar sobre o acelerador de partículas Sirius? Caso sua resposta tenha sido sim, saberia dizer onde este acelerador está localizado?”</i>	8%	92%
4.	<i>“Com que função você imagina que os aceleradores de partículas foram criados?”</i>	Questão Aberta	
5.	<i>“Você já ouviu falar sobre a Luz Síncrotron? Caso sua resposta tenha sido sim, saberia definir o que é?”</i>	0%	100%

Fonte: Autoria Própria, 2023.

A análise dos resultados indica uma resposta unânime entre os participantes, com 100% afirmando já ter ouvido falar sobre ondas eletromagnéticas (Pergunta 1). Não houve relato de participantes que responderam negativamente à pergunta. Essa alta taxa de conhecimento inicial pode fornecer uma base sólida para a exploração mais aprofundada do tema durante a sequência didática proposta. Desses, 30,8% dos estudantes afirmaram que não sabiam explicar ou que não sabiam definir. Os outros 69,2% definiram as Ondas Eletromagnéticas de várias maneiras (Quadro 26), usando exemplos como micro-ondas, raio-x, ultravioleta e TV.

Quadro 26 – Respostas dos Est. sobre as Ondas Eletromagnéticas (Pergunta 1).

Comentários dos Estudantes	
Est. 1	<i>“Não sei explicar, porém, sei que alguns eletrodomésticos emitem essas ondas, como o micro-ondas, raio x”</i>
Est. 2	<i>“Não sei explicar! Exemplos: rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raio x e raio gama”</i>
Est. 3	<i>“Não sei explicar; TV, imãs, micro-ondas”</i>
Est. 4	<i>“São ondas geradas por um pulso eletromagnético que são luz”</i>
Est. 5	<i>“São ondas que se propagam no vácuo. Exemplos: TV, micro-ondas”</i>
Est. 6	<i>“São oscilações formadas por campos elétricos ou magnéticos, como por exemplo a TV, micro-ondas, até mesmo a energia do Sol”</i>
Est. 7	<i>“São frequências de energia que viajam em uma vibração específica como o micro-ondas, rádio, antenas de TV, etc”</i>
Est. 8	<i>“São oscilações de campo elétrico e magnético que se propagam perpendicularmente entre si e não precisam de um meio para se propagar. (Ex.: luz, lasers, micro-ondas, etc)”</i>
Est. 11	<i>“São ondas que se propagam e podem ser medidas em frequências específicas. Ex: micro-ondas, ultravioleta.”</i>
Est. 15	<i>“São infravermelho, aquelas emitidas pelos micro-ondas. São aquelas utilizadas para diferentes funções, inclusive aquecimento de algum material”</i>

Est. 17	<i>“É uma forma de propagar energia através de ondas. Ex. micro-ondas”</i>
Est. 18	<i>“Não lembro exatamente o que é, mas um exemplo de uso seria o micro-ondas”</i>
Est. 19	<i>“Interação entre campos elétricos e magnéticos, onde vai ter uma frequência e uma amplitude”</i>
Est. 20	<i>“São interações magnéticas que possuem um comprimento e amplitude (onda)”</i>
Est. 23	<i>“São formadas por campos elétricos e magnéticos”</i>
Est. 24	<i>“Não lembro da definição. Seria micro-ondas e UV”</i>
Est. 25	<i>“São combinações de eletricidade e magnetismo. Usada para ver TV por exemplo”</i>
Est. 26	<i>“Não saberia definir, mas, como exemplo prático, acredito que o micro-ondas se utiliza de ondas eletromagnéticas”</i>

Fonte: Aatoria Própria, 2023.

As respostas dos participantes revelam uma gama variada de entendimentos sobre ondas eletromagnéticas. Alguns estudantes, como *Est. 1* e *Est. 18*, demonstram uma falta de conhecimento preciso, associando principalmente as ondas eletromagnéticas ao micro-ondas. Por outro lado, participantes como *Est. 2, 5, 6, 7, 8, 11, 15, 17, 19, 20, 23, 24, 25* e *26* oferecem definições mais elaboradas, conectando as ondas eletromagnéticas a uma variedade de dispositivos eletrodomésticos, aplicações tecnológicas e características físicas.

Outros, como *Est. 3, 5* e *25*, admitem não ter uma explicação detalhada, mas associam as ondas eletromagnéticas a exemplos como TV, micro-ondas e ímãs. *Est. 24* não fornece uma definição precisa, mas menciona micro-ondas e ultravioleta como exemplos.

Essa diversidade nas respostas destaca a heterogeneidade no entendimento prévio dos estudantes sobre ondas eletromagnéticas. Essa variedade é uma oportunidade valiosa para o professor adaptar sua abordagem durante a sequência didática, abordando lacunas de conhecimento e promovendo uma compreensão mais robusta do tema. A variedade também destaca a importância de estratégias diferenciadas para atender às diferentes perspectivas dos alunos, promovendo um ambiente de aprendizado inclusivo e eficaz.

Na pergunta 2, a análise dos resultados indica que a maioria dos participantes, representando 80%, já ouviu falar sobre aceleradores de partículas, enquanto 20% afirmam não ter conhecimento prévio sobre o assunto. Essa prevalência de conhecimento inicial pode oferecer uma base sólida para a exploração mais aprofundada do tema durante a sequência didática proposta. A minoria sem conhecimento prévio destaca a oportunidade de introduzir o conceito de aceleradores de partículas de maneira acessível e esclarecedora.

Registramos 12 comentários nessa questão, dos quais 50% mencionaram “não sei explicar” ou “não sei definir”, enquanto os outros 50% apresentaram as respostas a seguir (Quadro 27):

Quadro 27 – Respostas dos Est. sobre Aceleradores de Partículas (Pergunta 2).

Respostas dos Estudantes	
Est. 4	<i>“É uma cápsula onde uma partícula é acelerada numa velocidade próxima à da luz”</i>
Est. 6	<i>“Serve para fornecer energia para as partículas subatômica. Relacionando a concentração de energia com o volume”</i>
Est. 7	<i>“São estruturas muito grandes e complexas, com fins científicos, usados para a quebra e choque de partículas”.</i>
Est. 8	<i>“São estruturas capazes de acelerar átomos partindo de uma oscilação de campos magnéticos”</i>
Est. 24	<i>“Não, pois ouvi falar na série TBBT”</i>
Est. 25	<i>“São máquinas que entregam energia a algumas partículas”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

As respostas dos estudantes revelam uma variedade de compreensões sobre aceleradores de partículas. Alguns estudantes, como o *Est. 4* e *Est. 6*, oferecem definições que destacam o propósito de acelerar partículas subatômicas, sendo a primeira associada a uma cápsula e a segunda enfatizando a relação entre energia e volume.

O *Est. 7* descreve os aceleradores como estruturas complexas usadas para quebra e choque de partículas com propósitos científicos. Dentre vários aceleradores do planeta que trabalham com a física de partículas, um dos mais conhecidos e bastante mencionados nos livros que analisamos no capítulo 2 – intitulado: “Aceleradores de Partículas e Luz Síncrotron: uma breve revisão da literatura”, é o Grande Colisor de Hádrons (LHC). O estudante não especifica, mas acreditamos que ele esteja se referindo a esse acelerador, que consiste na desintegração dos prótons devido às colisões dos átomos uns com os outros (Oliveira, 2022). Isso reafirma a necessidade da presente pesquisa, na qual um dos objetivos é a divulgação do acelerador de partículas brasileiro Sirius.

O *Est. 8* associa a aceleração de átomos a oscilações de campos magnéticos. Por outro lado, o *Est. 24* revela não ter conhecimento prévio sobre aceleradores de partículas, mencionando ter ouvido falar na série de TV “The Big Bang Theory” (TBBT). Já o *Est. 25* oferece uma definição mais sucinta, caracterizando os aceleradores de partículas como máquinas que entregam energia a algumas partículas.

Na pergunta 3, 92% dos estudantes afirmaram não terem conhecimento sobre o acelerador de partículas Sirius. Dos 8% que mencionaram que já ouviram falar, apenas uma pessoa soube responder que o Acelerador Sirius está localizado no Brasil (Quadro 28).

Quadro 28 – Respostas do Est. sobre o acelerador de partículas Sirius (Pergunta 3).

Comentários dos Estudantes	
Est. 8	<i>“Apenas que é localizado no Brasil”</i>

Fonte: Autorial Própria, 2023.

Na pergunta 4, em relação a função do Acelerador de Partículas, 30,8% dos estudantes teceram comentários como “não sei”, “não sei explicar” ou “não faço ideia”. Os demais (69,2%), escreveram suas respostas (Quadro 29):

Quadro 29 – Respostas dos Est. sobre a função dos aceleradores de partículas (Pergunta 4).

Comentários dos Estudantes	
Est. 1	<i>“Acelerar algum tipo de reação que possui ondas eletromagnéticas”</i>
Est. 3	<i>“Maneira para transformar átomos”</i>
Est. 4	<i>“Para estudar o comportamento das partículas em alta velocidade”</i>
Est. 6	<i>“Visualizar as partículas subatômicas que tem alto teor de energia”</i>
Est. 7	<i>“Para estudo das partículas”</i>
Est. 8	<i>“Para tratar interações entre partículas”.</i>
Est. 9	<i>“Para acelerar as partículas”</i>
Est. 12	<i>“Aumentar a velocidade”</i>
Est. 13	<i>“Gerar energia”</i>
Est. 14	<i>“Para acelerar partículas, criar energia”</i>
Est. 16	<i>“Para estudo da estrutura e funcionamento dos átomos”</i>
Est. 17	<i>“Para conseguir resultados mais rápidos e dinamizar uma função que seria mais lenta”</i>
Est. 18	<i>“Experimentos físicos dentre eles, as experiências com elétrons”</i>
Est. 19	<i>“Acelerar reações para produção de tecnologia”</i>
Est. 20	<i>“Acelerar reações e aumentar as interações eletromagnéticas”</i>
Est. 21	<i>“Aumentar energia de algum sistema”</i>
Est. 24	<i>“Com a função de estudar melhor as partículas e conseguir “testar” seu uso”</i>
Est. 26	<i>“Acelerar processos físicos”</i>

Fonte: Autorial Própria, 2023.

Com base no Quadro 29, é possível observar que alguns estudantes (*Est. 4, 6, 12 e 18*) fazem referências ao estudo do comportamento de partículas em alta velocidade e à visualização de partículas subatômicas, evidenciando a compreensão experimental.

Outros estudantes usam expressões como “estudo das partículas” (*Est. 7*) e “estudo da estrutura e funcionamento dos átomos” (*Est. 16*), indicando um entendimento mais amplo da pesquisa científica. A expressão “para conseguir resultados mais rápidos e dinamizar uma função que seria mais lenta” (*Est. 17*) destaca a busca por eficiência nos experimentos, e a relação entre o acelerador de partículas e a produção de tecnologia (*Est. 19*) indica uma compreensão das aplicações práticas da pesquisa.

Em geral, essas diversas perspectivas refletem a complexidade e versatilidade dos aceleradores de partículas. Durante a SD, explorar essas diferentes concepções permitirá aos estudantes desenvolver uma compreensão mais abrangente sobre o papel crucial dos aceleradores na pesquisa científica e no avanço tecnológico.

Os resultados da quinta questão indicam que nenhum dos participantes já ouviu falar sobre a luz síncrotron. Ao abordar essa temática, os estudantes têm a oportunidade de expandir seus horizontes científicos, compreendendo como a luz síncrotron é aplicada em pesquisas avançadas, desde a investigação da estrutura de materiais até estudos na área da saúde. Portanto, ao promover a familiarização com a luz síncrotron e o acelerador de partículas Sirius, os estudantes tem contato com uma ciência de ponta e brasileira.

6.2.2 Resultados Referente a Primeira Etapa da SEI

Após a o teste diagnóstico desenvolvemos a SD proposta utilizando os elementos da SEI. A primeira etapa da SEI, definida por Carvalho (2013) como Problema Experimental ou Teórico, teve como objetivo despertar a curiosidade e o interesse dos alunos, além de fornecer um contexto ou desafio que motivasse a investigação e a aprendizagem. A autora ainda afirma que esta etapa inicial muitas vezes é também chamada de “desencadeamento” ou “motivação” e desempenha um papel fundamental no engajamento dos alunos no processo de aprendizagem investigativa.

Como citado no Capítulo anterior intitulado Metodologia, construímos e utilizamos uma Maquete Didática (Figura 18) que faz uma analogia funcional com o acelerador de partículas Sirius. Também foi construído um conjunto de perguntas (quatro ao todo) no qual chamamos de Questões Problematizadoras (Quadro 30) que tem como propósito criar um ponto de partida, que estimule os alunos a se envolverem ativamente no processo de investigação, preparando o

“terreno” para as etapas subsequentes da SEI.

Quadro 30 – Problema Experimental ou Teórico (Primeira etapa da SEI).

Questões Problemáticas	
1.	Conseguiria identificar alguns componentes no aparato experimental e qual seria a função deles?
2.	Por que o tubo do acelerador tem o formato circular?
3.	No Sirius em Campinas, qual é o componente responsável por aumentar a velocidade da partícula?
4.	O que seriam essas cabines no final do tubo que percorre a luz e para que serve?

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Na sala de aula, inicialmente, foram distribuídos o material impresso com as questões problemáticas. Os alunos começaram a responder essas questões, e durante esse processo, os estudantes (em grupo que variaram entre 5 e 7 alunos) foram sendo convidados à mesa da frente (onde estava a maquete do Sirius). Nesse momento, tivemos a oportunidade de discutir, de forma coletiva, as questões do material e tirar dúvidas sobre outras perguntas que iam surgindo à medida que a maquete estava sendo explorada, observando seus componentes e seu funcionamento. Posteriormente, os grupos voltaram para seus assentos para então revisar e refinar as informações de suas respostas.

A maquete foi utilizada de forma dinâmica e interativa. O potenciômetro possibilitou aos estudantes manipular a frequência com que os Leds acendiam e apagavam, permitindo que controlassem a velocidade, representando visualmente o movimento e a aceleração dos elétrons no tubo e na geração da luz síncrotron. Os quadros a seguir (Quadros 31, 32, 33 e 34) trazem as respostas referentes as questões problemáticas.

Quadro 31 – Respostas dos estudantes sobre os componentes do aparato experimental (Questão 1).

Comentários dos Estudantes	
Est. 1	<i>“Os elétrons, que geram a energia, o ímã que atrai o elétron e acelera a velocidade dos elétrons”</i>
Est. 2	<i>“Os elétrons, para gerar as energias. Ímã, para aumentar a aceleração”</i>
Est. 3	<i>“Os elétrons, para gerar as energias; Ímãs para acelerar as velocidades das partículas”</i>
Est. 4	<i>“Eletroímãs; estações de captação das partículas; tubos de aceleração”</i>
Est. 5	<i>“Os ímãs para aumentar a aceleração”</i>
Est. 6	<i>“Cobre, que serve como um ímã para os elétrons; Lâmpadas para indicar que a velocidade chega a ser próxima a da luz; Estações experimentais como o nome de árvores afim de homenagear a fauna e a flora do Brasil”</i>

Est. 7	<i>“Tubo de aceleração, estações adjacentes de estudo da luz síncrotron, ímãs usados para acelerar as partículas”</i>
Est. 8	<i>“As fiações de cobre na mangueira simulam os ímãs que aceleram as partículas. Os leds representam a trajetória das partículas. As caixas tangentes ao sistema são as estações de pesquisa e a mangueira simula o corpo do acelerador”</i>
Est. 9	<i>“Ímãs: responsáveis por gerar campos magnéticos; Tubos: responsável por criar e manter um ambiente de vácuo extremo. Leds: que são as linhas de luz que transporta a luz até as estações”</i>
Est. 10	<i>“Ímã (aceleração), cabine ou estações experimentais (armazenamento e transformação da energia)”</i>
Est. 11	<i>“Os ímãs presentes no circuito geram a aceleração dos elétrons. O tubo circular por onde percorre o elétron e as cabines no fim é onde a luz gerada acaba”</i>
Est. 12	<i>“As luzes. Mostrar que está em movimento”</i>
Est. 13	Essa questão não foi respondida pelo estudante 13!
Est. 14	<i>“Ímãs, acelera a velocidade dos elétrons, as luzes que simbolizam os elétrons, as cabines, os elétrons são direcionados até elas, a partir da robótica, que permite que tudo funciona”</i>
Est. 15	<i>“Tem os ímãs que são utilizados para acelerar essas partículas e conseqüentemente aumenta a velocidade daquela luz”</i>
Est. 16	<i>“Há um tubo percorrido pelo elétron, atraído pelas redes magnéticas até atingir uma velocidade próxima a da luz e, tangencialmente, emitir a luz síncrotron para as cabines experimentais”</i>
Est. 17	<i>“Cobre/Ímã: promover a condução de carga elétrica para a luz. Led: simbolizar a luz que é propagada”</i>
Est. 18	<i>“Apenas a função do ímã, sei que serve para direcionar os elétrons, além de acelerar ou manter sua velocidade”</i>
Est. 19	<i>“Os fios de cobre representam os ímãs que aceleram o elétron; mangueiras, representando os tubos que estão presentes no acelerador para a passagem dos elétrons”</i>
Est. 20	<i>“O elétron (a luz); os fios de cobre (que seriam os ímãs)”</i>
Est. 21	<i>“Tubos onde os elétrons passam e bobinas (ímãs)”</i>
Est. 22	<i>“Os ímãs, fazendo com que os elétrons percorram por todo o círculo”</i>
Est. 23	<i>“Tubos, luzes de leds, ímãs, caixinha de plásticos, arduinos, fios”</i>
Est. 24	<i>“Led: representa o elétron; Fios de cobre: ímãs; Tubo: representa a estrutura do anel circular”</i>
Est. 25	<i>“O ímã, que tem por objetivo ser um condutor magnético”</i>
Est. 26	<i>“A mangueira representa os tubos, os fios de cobre que representam o ímã, o led que representa os elétrons”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Na questão 1, foi perguntado se os estudantes conseguiriam identificar alguns componentes da maquete e qual seria a função deles. Analisando o Quadro 31, é possível perceber que a grande maioria dos estudantes tentou não só descrever literalmente os componentes da maquete, como também dizer qual a função de cada um. Alguns forneceram mais detalhes, citando mais componentes, enquanto outros mencionaram menos componentes e com menos detalhes. Há estudantes que fazem a associação entre a maquete e o acelerador real, e outros adotaram uma abordagem mais descritiva da maquete.

Destacamos a resposta do *Est. 16*, que se destaca ao fornecer uma explicação mais voltada para o funcionamento real do Sirius. Ao usar a expressão “tangencialmente”, indica um conhecimento técnico, que é um dos motivos pelo qual o acelerador tem o formato circular. Também menciona outros temas, como “redes magnéticas”, “cabines experimentais” e “luz síncrotrons”, demonstrando uma compreensão mais científica. Todos esses termos têm sua analogia funcional na maquete do Sirius que estava sendo explorada.

É possível visualizar algumas diferenças e semelhanças nas respostas dos estudantes. Diferenças notáveis incluem variações na ênfase dada a diferentes componentes, como ímãs, tubos, cabines experimentais e LEDs. Alguns estudantes mencionam elementos adicionais, como homenagens à fauna e flora do Brasil (*Est. 6*) ou uso de Arduinos/Robótica (*Est. 14* e *23*). As descrições da função dos ímãs também variam, desde direcionar elétrons até gerar campos magnéticos.

As semelhanças residem na recorrência dos temas centrais, como a relação entre elétrons e ímãs, a aceleração dos elétrons e a geração da luz síncrotron. A maioria dos estudantes destaca o papel crucial dos ímãs nesse processo e faz referência aos tubos como parte do acelerador.

Portanto, julgamos que a maquete foi grande importância para esta etapa, pois serviu como um modelo. Os estudantes não apenas conseguiram nomear algumas partes da maquete, como também entenderam o que gera energia, o que produz e acelera o feixe, bem como a função de cada um desses componentes.

Quadro 32 – Respostas dos estudantes sobre o formato do acelerador (Questão 2).

Comentários dos Estudantes	
Est. 1	<i>“Para que a energia do meio seja parecida com a energia da borda, utilizando ímãs para acelerar os elétrons”</i>
Est. 2	<i>“Para a energia do centro ir igualmente para a borda”</i>
Est. 3	<i>“Para partícula ficar no centro e ir igualmente para a borda”</i>
Est. 4	<i>“Para ter a mesma distância da partícula, pois um círculo possui a mesma distância das bordas para o centro”</i>
Est. 5	<i>“Se torna mais econômico e também porque o formato circular é mais perceptível a aceleração”</i>
Est. 6	<i>“É circular porque a partícula do centro vai ter a mesma distância da borda para o centro e também por causa da lei da inércia”</i>
Est. 7	<i>“O formato circular permite que as partículas continuem girando indefinidamente, que não seria possível em outros formatos”</i>
Est. 8	<i>“Para aproveitamento de espaço e permitir o ciclo da partícula acelerada mantendo a radiação da luz síncrotron”</i>

Est. 9	<i>“Para que as partículas continuem acelerando, aumentando a sua energia e a chance de colisões”</i>
Est. 10	<i>“Ele centraliza a força de elétrons”</i>
Est. 11	<i>“Para dá tempo dos elétrons atingirem a velocidade desejada. Além de gerar os feixes de luz pela tangente da curva”</i>
Est. 12	<i>“Para os elétrons continuar rodando e aumentar a velocidade”</i>
Est. 13	<i>“Para ter um formato para que as partículas aumentem a velocidade”</i>
Est. 14	<i>“Para os elétrons “aproveitarem” todo espaço percorrido”</i>
Est. 15	<i>“Existem diferentes motivos entre esse evitar que a energia escape pela tangente e dessa forma, é uma maneira de manter a velocidade circulando e essas partículas permanecerem acelerados”</i>
Est. 16	<i>Porque permite que o elétron aumente de velocidade em um espaço menor e demandando menos recursos, como as redes magnéticas”</i>
Est. 17	<i>“Para otimizar o espaço. Para aumentar a velocidade das partículas, possibilitando que o elétron passe mais de uma vez pelo ímã”</i>
Est. 18	<i>“Para fazer com que os elétrons permaneçam com a mesma ou aumente sua aceleração”</i>
Est. 19	<i>“Para que o elétron possa passar pelos mesmos ímãs para acelerar e para que não haja perda de velocidade, além de que a luz vai sair tangenciando”</i>
Est. 20	<i>“Para aumentar a velocidade do elétron, para economizar espaço”</i>
Est. 21	<i>“É necessário maior percurso para ganhar tempo e espaço para gerar a luz síncrotron (maior quantidade de ímã em contato)”</i>
Est. 22	<i>“Para os elétrons continuarem em movimento”</i>
Est. 23	<i>“Para que a luz percorra várias vezes alimentando a velocidade, reduzindo recursos e pela lei da inércia a luz vai sair pela tangente ao atingira velocidade próxima da luz”</i>
Est. 24	<i>“Porque serve para auxiliar na aceleração dos elétrons, além de facilitar a saída da luz síncrotron”</i>
Est. 25	<i>“Porque quando o átomo chega próximo a velocidade da luz, ele vai perdendo elétrons, fazendo este loop”</i>
Est. 26	<i>“Porque o formato circular faz com que os elétrons percorram mais rápido pelos tubos”</i>

Fonte: Aatoria Própria, 2023.

De acordo com Silva (2020), os aceleradores de partículas são frequentemente construídos em forma circular devido à necessidade de manter partículas carregadas em trajetórias circulares através da aplicação de campos magnéticos. O feixe de partículas percorre trajetórias circulares por várias vezes. Em cada volta, as partículas são mais aceleradas, devido à presença de campos elétricos e magnéticos que dão novos impulsos às partículas. Isso permite que as partículas ganhem energia de forma contínua, alcançando velocidades muito elevadas. O formato circular é eficaz para manter as partículas em órbita controlada, facilitando experimentos e observações.

Ao analisar o Quadro 32, notamos que alguns estudantes tentaram explicar e chegaram um pouco próximo da definição mencionada anteriormente pelo autor, como no caso do *Est. 7, 11, 12 e 19*. A maioria dos estudantes destaca que a importância do formato circular para acelerar os elétrons e destacam a eficiência ou economia de recursos ao usar esse formato, sugerindo uma compreensão prática do design do sistema.

As razões específicas para escolher o formato circular variam, desde manter a distância constante do centro à borda (*Est. 1, 2, 3, 4 e 6*) até otimizar o espaço (*Est. 8, 14, 16, 17 e 21*). Observa-se também as menções à lei da inércia (*Est. 6*), aumento de velocidade em espaço menor, até a ideia de manter os elétrons em movimento ou evitar perda de velocidade, o que caracteriza uma compreensão do processo físico e presença de termos técnicos.

Quadro 33 – Respostas dos estudantes sobre o aumento da velocidade das partículas (Questão 3).

Comentários dos Estudantes	
Est. 1	<i>“O ímã, nesse caso, o fio de cobre, que na maquete serve para acelerar os “elétrons”, fazendo com que o polo positivo do ímã interaja com o elétron (-), podendo chegar a uma velocidade próxima a da luz”</i>
Est. 2	<i>“O ímã serve para acelerar”</i>
Est. 3	<i>“Os Ímãs”</i>
Est. 4	<i>“Os eletroímãs”</i>
Est. 5	<i>O ímã</i>
Est. 6	<i>“O ímã serve como acelerador do campo magnético”</i>
Est. 7	<i>“Os ímãs no tubo de aceleração”</i>
Est. 8	<i>“São os ímãs os quais alternam sua polarização e aceleram a partícula”</i>
Est. 9	<i>“O booster”</i>
Est. 10	<i>“Ímã, libera o campo magnético”</i>
Est. 11	<i>“Os ímãs”</i>
Est. 12	<i>“Os ímãs”</i>
Est. 13	<i>“Os ímãs”</i>
Est. 14	<i>“Os ímãs são os componentes responsáveis por aumentar a velocidade da partícula”</i>
Est. 15	<i>“São as tensões eletromagnéticas que aceleram aquela luz (gerada pelo aceleração dos elétrons) só que em maiores proporções”</i>
Est. 16	<i>“As redes magnéticas atraem o elétron, através do campo magnético, conduzindo-o ao longo da estrutura”</i>
Est. 17	<i>“A luz. A propagação da energia através da luz”</i>
Est. 18	<i>“Ímãs”</i>
Est. 19	<i>“Os ímãs, que vão gerar compôs magnéticos que vão aumentar a velocidade do elétron”</i>
Est. 20	<i>“Um ímã, interações eletromagnéticas”</i>

Est. 21	<i>“Ímãs”</i>
Est. 22	<i>“Os ímãs aumentam a velocidade dos elétrons”</i>
Est. 23	<i>“Os ímãs ou componentes eletromagnéticos”</i>
Est. 24	<i>“Ímãs”</i>
Est. 25	<i>“Os ímãs”</i>
Est. 26	<i>“O canhão de partículas dá o “tiro” inicial nos elétrons e os ímãs faz com que os elétrons aumentem a força”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Através do Quadro 33, percebe-se que a maioria dos estudantes destaca os ímãs como componentes-chave para acelerar os elétrons. Alguns mencionam a interação com o campo magnético e usam alguns termos como elétrons, campo magnético, redes magnéticas, eletroímãs, eletromagnéticos, o que indica uma alfabetização de nomenclatura técnica e científica dos processos.

Também se observa que algumas respostas fornecem detalhes específicos sobre os ímãs, como alternância de polarização e geração de campos magnéticos. Outros mencionam componentes além dos ímãs, como o canhão de partículas (*Est. 26*), redes magnéticas ou booster (*Est. 9*), adicionado complexidade às descrições.

Em geral, os estudantes demonstram uma compreensão fundamental dos conceitos envolvidos, com algumas variações na profundidade da explicação e na inclusão de detalhes específicos. A presença de termos técnicos e uma lógica consistente sugere um nível de compreensão científica alcançado.

Quadro 34 – Respostas dos estudantes sobre as cabines experimentais (Questão 4).

Comentários dos Estudantes	
Est. 1	<i>“As cabines possuem os nomes de fauna e flora para homenagear a nacionalidade brasileira, e servem para armazenar a energia obtida”</i>
Est. 2	<i>“São nomes de árvores e coisas do Brasil para valorizar o país”</i>
Est. 3	<i>“Centro de capacitação e estudo da partícula”</i>
Est. 4	<i>“Capitação de partícula para estudos”</i>
Est. 5	<i>“São nomes da fauna e flora brasileira para valorizar o país”</i>
Est. 6	<i>“Analisar a frequência de cada amostra que será trabalhada, dependendo da temática”</i>
Est. 7	<i>“São estações de estudo da luz síncrotron”</i>
Est. 8	<i>“São as estações de pesquisa as quais avaliam em diversas variedades a aplicação da luz síncrotron na sociedade”</i>

Est. 9	<i>“Seria as estações, elas servem para que quando a partícula atingir sua velocidade máxima (que seria a velocidade da luz) elas possam estacionar a velocidade. E também, para que os pesquisadores possam realizar seus experimentos científicos usando a luz síncrotron gerada pelo acelerador de partículas”</i>
Est. 10	<i>“Estações experimentais, armazenar a energia”</i>
Est. 11	<i>“São cabines de pesquisa onde os feixes de luz em frequências específicas são captadas”</i>
Est. 12	<i>“São as estações onde fazem os experimentos das pesquisas”</i>
Est. 13	<i>“Para capturar as energias geradas pelo Sirius”</i>
Est. 14	<i>“Seriam cabines experimentais, os elétrons são “guiados” até elas”</i>
Est. 15	<i>“São compartimentos em que os componentes gerados pela luz síncrotron, são reservados e utilizados para diferentes pesquisas, incluindo alguns exames de saúde pela utilização da luz”</i>
Est. 16	<i>“São cabines experimentais onde diferentes pesquisas são desenvolvidas com a luz síncrotron”</i>
Est. 17	<i>“Seria o destino final da luz síncrotron; serve para receber a luz e estudar algo que está sendo pesquisado”</i>
Est. 18	<i>“Estações experimentais”</i>
Est. 19	<i>“Estações que trabalham com a luz que é emitida, em áreas específicas, com grupos de cientistas”</i>
Est. 20	<i>“São estações onde a luz emitida é estudada e utilizada no estudo de outras coisas”</i>
Est. 21	<i>“Estações onde chega a luz síncrotron e ocorre as pesquisas”</i>
Est. 22	<i>“São as estações de experimento que fazem pesquisas com as partículas”</i>
Est. 23	<i>“São estações tipo laboratórios onde vai haver as pesquisas em diversas áreas. Armazena a luz síncrotron”</i>
Est. 24	<i>“São estações experimentais que tem por objetivo usar a luz síncrotron em análises, estudos e pesquisas”</i>
Est. 25	<i>“Para o estudo do que for colocado lá dentro”</i>
Est. 26	<i>“Elas servem para armazenar os elétrons da luz síncrotron”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Analisando o Quadro 34, percebe-se que a maioria dos estudantes concorda que as cabines ou estações têm a função de armazenar a energia obtida no processo. Vários estudantes mencionaram que os nomes das cabines estão relacionados à fauna e flora brasileira como uma forma de homenagear o país. Na maquete do Sirius (Figura 18), as estações experimentais estão representadas por caixas de acrílico, nas quais consta o nome de cada estação, nomes da fauna e da flora brasileira. Nesse contexto, percebemos mais uma vez o potencial didático da maquete funcional do Sirius. Os resultados também mostram que a maioria dos estudantes destaca o papel das cabines ou estações como locais onde pesquisas e experimentos são conduzidos, especialmente utilizando a luz síncrotron.

Algumas respostas fornecem detalhes adicionais sobre o tipo de pesquisa realizada nas estações, incluindo a análise de frequência, exames de saúde e estudos em diversas áreas. Enquanto outras respostas focam na capacidade de armazenamento da energia, demonstrando uma compreensão prática e conectando a função das estações com os processos científicos envolvidos.

Em geral, julgamos que os estudantes demonstraram uma compreensão fundamental das funções das estações experimentais, com algumas variações na profundidade das explicações. A presença de termos técnicos e uma lógica consistente indica um nível de compreensão alcançado.

6.2.3 Resultados Referente a Segunda Etapa da SEI

Ainda no primeiro dia da intervenção, após os estudantes discutirem, refletirem e buscarem possíveis respostas para as perguntas (fazendo buscas na internet do celular ou dialogando entre os pares), passamos para a Segunda Etapa da SEI – Sistematização do Conhecimento. De acordo com Carvalho (2013), essa etapa tem como objetivo principal ajudar os alunos a organizar, analisar e consolidar o conhecimento adquirido durante a investigação.

Foi disponibilizado aos alunos um material de leitura em que traz um resumo sobre aceleradores de partículas, especificando alguns de outros países e destacando o acelerador brasileiro Sirius (Apêndice H). Em seguida, os estudantes responderam a atividade da sequência didática (Quadro 35 ao 48) intitulada “Glossário”. Essa atividade teve como objetivo sofisticar a compreensão das partes que compõe o acelerador e sistematizar alguns termos e conceitos com base na leitura dos textos e nas discussões durante a etapa 1 da SEI.

Quadro 35 – Respostas do Est. 6 da Atividade 1 (Glossário).

Termos		Definições dada pelo Est. 6
1.	Aceleradores de Partículas	<i>“Dispositivos que fornecem energia e feixes de partículas subatômicas”</i>
2.	Síncrotron	<i>“É um acelerador cíclico de partículas”</i>
3.	Velocidade da Luz	<i>“Medida que mede a distância”</i>
4.	Rede Magnética	<i>“Fenômeno físico que explica a atração entre metais e ímãs”</i>
5.	Radiação Eletromagnética	<i>“Junção do campo magnético com o campo elétrico que se propaga no vácuo transportando energia”</i>
6.	Linha de Luz	<i>“Estações experimentais onde os materiais são analisados”</i>
7.	Anel de Armazenamento	<i>“Acelerador de partículas no qual mantém a partícula pulsando em círculo por horas”</i>

8.	Canhão de Elétrons	<i>“Componente elétrico que produz energia cinética”</i>
9.	Acelerador Linear	<i>“Tem como finalidade aumentar a velocidade de partículas subatômicas”</i>
10.	Estações Experimentais	<i>“Área destinada à realização de programas e atividades de pesquisas científicas”</i>
11.	Acelerador Sirius	<i>“Produz um tipo especial de luz chamada luz síncrotron”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

No Quadro 35 é apresentado as respostas do *Est. 6* referente a atividade 1 (glossário). Ao analisarmos as definições feita pelo mesmo, julgamos que os termos 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 como razoavelmente de acordo com a literatura, enquanto os termos 3 e 4 estão equivocados.

A velocidade da luz é uma constante determinante para o limite de velocidade do universo e se propaga com uma velocidade aproximadamente $3 \cdot 10^5$ km/s. Já a rede magnética, no contexto da atividade proposta, é uma rede de ímãs responsável por direcionar e aumentar os elétrons dentro do acelerador de partículas.

Quadro 36 – Respostas do *Est. 7* da Atividade 1 (Glossário).

Termos		Definições dada pelo <i>Est. 7</i>
1.	Aceleradores de Partículas	<i>“São máquinas usadas para aumentar a velocidade das partículas”</i>
2.	Síncrotron	<i>“São ondas eletromagnéticas que são liberadas pelas partículas que andam no acelerador”</i>
3.	Velocidade da Luz	<i>“É a velocidade mais alta que uma partícula pode chegar, após essa velocidade é lançada a luz síncrotron”</i>
4.	Rede Magnética	<i>“É a rede de ímãs que fazem com que as partículas fiquem em grandes velocidades”</i>
5.	Radiação Eletromagnética	<i>“É a energia liberada pelos elétrons”</i>
6.	Linha de Luz	<i>“São componentes da estrutura que ligam o acelerador às estações por onde passa a luz síncrotron”</i>
7.	Anel de Armazenamento	<i>“É um dos componentes do acelerador, em que as partículas ficam estáveis”</i>
8.	Canhão de Elétrons	<i>“Por onde os elétrons são liberados”</i>
9.	Acelerador Linear	<i>“Depois que os elétrons são liberados, eles pegam a velocidade inicial no acelerador linear”</i>
10.	Estações Experimentais	<i>“São estruturas adjacentes ao acelerador, onde se estuda a luz síncrotron”</i>
11.	Acelerador Sirius	<i>“Laboratório científico em Campinas, onde são aceleradas as partículas”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

No Quadro 36 é apresentado as respostas do *Est. 7* referente a atividade 1 (glossário). Ao analisarmos as definições feita pelo mesmo, julgamos que todos os termos, de forma resumida, foram bem definidos. O item 11 poderia ter sido definido de maneira mais específica caso o estudante tivesse mencionado “que é um acelerador de partículas em Campinas” no lugar de “Laboratório científico em Campinas”.

Quadro 37 – Respostas do Est. 8 da Atividade 1 (Glossário).

Termos		Definições dada pelo Est. 8
1.	Aceleradores de Partículas	<i>“Máquinas capazes de acelerar partículas em velocidades próximas da luz e aproveita as radiações emitidas pela partícula para estudos”</i>
2.	Síncrotron	<i>“Onda emitida pela partícula acelerada próxima a velocidade da luz”</i>
3.	Velocidade da Luz	<i>“Tempo necessário para a luz percorrer uma distância. Velocidade para emissão da luz síncrotron”</i>
4.	Rede Magnética	<i>“Direciona a partícula sob a trajetória do acelerador, dissipando parte da energia em luz síncrotron”</i>
5.	Radiação Eletromagnética	<i>“Energia emitida pela luz com comprimentos de onda variáveis”</i>
6.	Linha de Luz	<i>“Trajetória da luz diante do acelerador de partículas até as estações experimentais”</i>
7.	Anel de Armazenamento	<i>“Local de estabilização dos elétrons no raio máximo do acelerador com energia máxima”</i>
8.	Canhão de Elétrons	<i>“Aparato responsável por dispor os elétrons a uma velocidade inicial”</i>
9.	Acelerador Linear	<i>“Impulsionador de elétrons em linha reta”</i>
10.	Estações Experimentais	<i>“Estrategicamente posicionados grandes estruturas que analisam diferentes faixas de radiação emitida pelo acelerador”</i>
11.	Acelerador Sirius	<i>“Acelerador de partículas brasileiro”</i>

Fonte: Aatoria Própria, 2023.

No Quadro 37 é apresentado as respostas do *Est. 8* referente a atividade 1 (glossário). Suas definições para os termos relacionados ao acelerador de partículas feita foram robustas e abrangentes. Ele demonstrou uma compreensão sólida dos conceitos, detalhando não apenas as funcionalidades dos componentes, mas também suas interações e a aplicação prática no contexto do acelerador Sirius.

Quadro 38 – Respostas do Est. 9 da Atividade 1 (Glossário).

Termos		Definições dada pelo Est. 9
1.	Aceleradores de Partículas	<i>“São máquinas capazes de aumentar a velocidade de uma partícula por meio da aplicação de campos magnéticos”</i>
2.	Síncrotron	<i>“É o nome que se dá as ondas magnéticas emitidas pelas partículas”</i>
3.	Velocidade da Luz	<i>“É a velocidade máxima que pode atingir”</i>
4.	Rede Magnética	<i>“Passagem entre ímãs dipolo e onduladores”</i>
5.	Radiação Eletromagnética	<i>“São os ímãs responsável por acelerar os elétrons”</i>
6.	Linha de Luz	<i>“É uma estação de pesquisa que utiliza ondas eletromagnéticas”</i>
7.	Anel de Armazenamento	<i>“Em sua energia máxima, os elétrons são mantidos em uma trajetória estável no anel maior”</i>
8.	Canhão de Elétrons	<i>“Dispara os elétrons”</i>
9.	Acelerador Linear	<i>“32 metros de comprimento para quase a velocidade da luz, com 0,15 volts de energia e injetados no anel interno”</i>
10.	Estações Experimentais	<i>“As configurações ópticas equivalentes aos prismas instalados”</i>
11.	Acelerador Sirius	<i>“É o acelerador brasileiro”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

No Quadro 38 é apresentado as respostas do *Est. 9* referente a atividade 1 (glossário). Ao analisarmos as definições feita pelo mesmo, julgamos que todos os termos, de forma resumida, foram bem definidos com exceção ao item 10. As estações experimentais são cabines que utilizam a luz síncrotron para analisar materiais.

Quadro 39 – Respostas do Est. 10 da Atividade 1 (Glossário).

Termos		Definições dada pelo Est. 10
1.	Aceleradores de Partículas	<i>“Máquina capaz de acelerar prótons, elétrons ou átomos carregados”</i>
2.	Síncrotron	<i>“A luz síncrotron sai do anel tangencial e é enviada para as estações experimentais”</i>
3.	Velocidade da Luz	<i>“300 milhões de metros por segundo”</i>
4.	Rede Magnética	<i>“Ao passarmos entre ímãs dipolo e onduladores, os elétrons sofrem desvios de trajetória e perdem fração de sua energia na forma de luz”</i>
5.	Radiação Eletromagnética	<i>“Conjunto de ondas; junção de campo magnético com o campo elétrico que se propaga no vácuo transportando energia”</i>
6.	Linha de Luz	<i>“Estações experimentais onde os materiais são analisados”</i>

7.	Anel de Armazenamento	<i>“Em sua energia máxima, os elétrons são mantidos em uma trajetória estável no anel”</i>
8.	Canhão de Elétrons	<i>“Componente elétrico que produz um feixe de elétrons com energia cinética”</i>
9.	Acelerador Linear	<i>“Onde os elétrons são liberados por um filamento de metal aquecido e impulsionados”</i>
10.	Estações Experimentais	<i>“As configurações ópticas equivalentes aos primas instalados nessas estações permitem a seleção da faixa de radiação que será usada para analisar as amostras”</i>
11.	Acelerador Sirius	<i>“Uma das mais modernas fonte de luz síncrotron de 4ª geração do mundo”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

No Quadro 39 é apresentado as respostas do *Est. 10* referente a atividade 1 (glossário). Ao analisarmos as definições feita pelo mesmo, julgamos que todos os termos, de forma simplificada, foram bem definidos. O item 3 poderia ter sido complementado caso o estudante mencionada que a velocidade da luz é a mais rápido do universo e não existe nada o que a supere.

Quadro 40 – Respostas do Est. 11 da Atividade 1 (Glossário).

Termos		Definições dada pelo Est. 11
1.	Aceleradores de Partículas	<i>“Maquinas que aumentam a velocidade de uma partícula”</i>
2.	Síncrotron	<i>“Radiação das ondas emitidas por partículas que se movem no anel circular do acelerador”</i>
3.	Velocidade da Luz	<i>“3.10^5km/s”</i>
4.	Rede Magnética	<i>“Causa desvio nos elétrons devido a passagem por ímãs”</i>
5.	Radiação Eletromagnética	<i>“Junção de campo magnético com o campo elétrico”</i>
6.	Linha de Luz	<i>“Raio X, raio gama. Produzida pela radiação ou partícula acelerada”</i>
7.	Anel de Armazenamento	<i>“Em energia máxima os elétrons são mantidos em trajetória estável”</i>
8.	Canhão de Elétrons	<i>“Produz feixe de elétrons com energia precisa”</i>
9.	Acelerador Linear	<i>“Por onde passam os elétrons quase a velocidade da luz”</i>
10.	Estações Experimentais	<i>“Permitem a seleção da faixa de radiação”</i>
11.	Acelerador Sirius	<i>“Uma das mais modernas fontes de luz síncrotron”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

No Quadro 40 é apresentado as respostas do *Est. 11* referente a atividade 1 (glossário). Ao analisarmos as definições feita pelo mesmo, julgamos que os termos 6 e 10 estão equivocados. As linhas de luz são como microscópicos complexos, que condicionam e focalizam a luz síncrotron para que ela ilumine as amostras dos materiais que se quer analisar. Essas linhas ficam nas estações experimentais que, como mencionado anteriormente, são as cabines onde as amostras dos materiais são analisadas. Os demais termos foram definidos pelo estudante de acordo com a literatura porém, de forma simplificada.

Quadro 41 – Respostas do Est. 12 da Atividade 1 (Glossário).

Termos		Definições dada pelo Est. 12
1.	Aceleradores de Partículas	“São máquinas de aumentar a velocidade de uma partícula (átomos, prótons ou elétrons)”
2.	Síncrotron	“Ondas eletromagnéticas emitidas pelas partículas que se movem no anel circular de um acelerador de partículas”
3.	Velocidade da Luz	“Velocidade da trajetória das partículas”
4.	Rede Magnética	“Uma ampla faixa de energia”
5.	Radiação Eletromagnética	“São partículas aceleradas, alguns aceleradores conseguem produzir diferentes linhas de luz”
6.	Linha de Luz	“As partículas que o acelerador Sirius produz”
7.	Anel de Armazenamento	“Onde os elétrons são mantidos em uma trajetória estável, por conjuntos de ímãs especiais”
8.	Canhão de Elétrons	“O que solta os elétrons”
9.	Acelerador Linear	“Elétrons liberados por um filamento de metal aquecido”
10.	Estações Experimentais	“Configurações ópticas equivalentes aos prismas instalados nessas estações permitem a seleção da faixa de radiação que será usada para analisar amostras”
11.	Acelerador Sirius	“Acelerador de partículas, uma das mais modernas fontes de luz síncrotron de 4ª geração”

Fonte: Autoria Própria, 2023.

No Quadro 41 é apresentado as respostas do *Est. 12* referente a atividade 1 (glossário). Ao analisarmos as definições feita pelo mesmo, julgamos que alguns itens estão equivocados, como no caso dos termos 3, 4, 5 e 6. O item 3, a velocidade da luz é definida como a maior velocidade do universo e corresponde a 3.10^5 km/s. Em relação a rede magnética, como já mencionado, são conjuntos de ímãs que tem o objetivo de direcionar e aumentar os feixes de elétrons dentro do tubo do acelerador. A radiação eletromagnética é a junção do campo elétrico e magnético que se propaga no vácuo transportando energia. No caso da linha de luz funciona a luz síncrotron para que ela ilumine as amostras dos materiais que se quer analisar.

Quadro 42 – Respostas do Est. 15 da Atividade 1 (Glossário).

Termos		Definições dada pelo Est. 15
1.	Aceleradores de Partículas	“São máquinas capazes de aumentar a velocidade de uma partícula por meio da ampliação de campos elétricos e magnéticos”
2.	Síncrotron	“É o nome dado as ondas eletromagnéticas, emitidas pelas partículas que se movem circularmente no acelerador”
3.	Velocidade da Luz	“Seria a velocidade atingida pela luz após a aceleração dos elétrons”
4.	Rede Magnética	“São regiões e que os elétrons sofrem desvio da trajetória e alcançam os compartimentos”
5.	Radiação Eletromagnética	“É a energia emitida por essa aceleração das partículas, tendo diferentes funções”
6.	Linha de Luz	“São radiações emitidas por partículas aceleradas”
7.	Anel de Armazenamento	“É a formatação que mantém os elétrons em uma trajetória estável, que circula a mesma através dos ímãs”
8.	Canhão de Elétrons	“É a energia de tensão que dispara o elétron no círculo”
9.	Acelerador Linear	“São ímãs por onde os elétrons agitam naquela rede de tensões”
10.	Estações Experimentais	“É para onde o resultado desse processo de aceleração de partículas vai”
11.	Acelerador Sirius	“É a estrutura capaz de produzir linhas de luz”

Fonte: Autoria Própria, 2023.

No Quadro 42 é apresentado as respostas do *Est. 15* referente a atividade 1 (glossário). Ao analisarmos suas definições, julgamos que os termos 6, 9 e 11 estão equivocados. A linha de luz é justamente o local em que a luz penetra nas amostras dos materiais. O acelerador linear é a parte início em que os elétrons são acelerados antes de entrar no anel circular. Em relação ao acelerador Sirius, o estudante poderia ter mencionado que se trata do acelerador de partículas brasileiro, maior infraestrutura científica do país.

Quadro 43 – Respostas do Est. 16 da Atividade 1 (Glossário).

Termos		Definições dada pelo Est. 16
1.	Aceleradores de Partículas	“Máquinas que podem acelerar uma partícula até próximo a velocidade da luz, através de campos elétrons e magnéticos”
2.	Síncrotron	“Radiação ou luz emitida tangencialmente pelos elétrons ao perderem uma fração de sua energia ao passarem por ímãs dipolares”
3.	Velocidade da Luz	“A maior velocidade conhecida e que não é superada por qualquer material. Utilizada como medida”
4.	Rede Magnética	“Tem função de manter o elétron em velocidade e trajetória estável”
5.	Radiação Eletromagnética	“A luz que é emitida a partir da trajetória dos elétrons”

6.	Linha de Luz	<i>“Diferentes frequências de luz que são emitidas e estudadas para diversos fins”</i>
7.	Anel de Armazenamento	<i>“Estrutura onde o elétron é lançado após atingir velocidade máxima e ali é mantido em velocidade constante”</i>
8.	Canhão de Elétrons	<i>“Equipamento que lança os elétrons para o acelerador linear”</i>
9.	Acelerador Linear	<i>“A primeira parte do acelerador, medindo 32 metros, que inicia o processo de aceleração”</i>
10.	Estações Experimentais	<i>“Locais onde a luz síncrotron é captada para o desenvolvimento de pesquisas”</i>
11.	Acelerador Sirius	<i>“Acelerador de partículas brasileiro inaugurado em 2020”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

No Quadro 43 é apresentado as respostas do *Est. 16* referente a atividade 1 (glossário). Ao analisarmos as definições feita pelo mesmo, julgamos que todos os termos, de forma resumida, foram bem definidos. No item 10, o estudante poderia ter acrescentado que as estações experimentais são as cabines que se realizam as análises das amostras dos materiais com o uso da luz síncrotron gerada no acelerador e no 11, poderia ter complementado o texto afirmando que o acelerador brasileiro é a maior e mais complexo infraestrutura científica do país.

Quadro 44 – Respostas do Est. 19 da Atividade 1 (Glossário).

Termos		Definições dada pelo Est. 19
1.	Aceleradores de Partículas	<i>“Máquinas com capacidade de aumentar a velocidade de uma partícula por meio do campo elétrico e magnético”</i>
2.	Síncrotron	<i>“Ondas eletromagnéticas emitidas pelas partículas que se movem no anel circular de um acelerador de partículas”</i>
3.	Velocidade da Luz	<i>“Uma constante da luz = 3.10^5 km/s”</i>
4.	Rede Magnética	<i>“Ao passar entre ímãs dipolo e onduladores, os elétrons sofrem desvios de trajetória e perdem fração de sua energia na forma de luz”</i>
5.	Radiação Eletromagnética	<i>“Uma interação do campo elétrico e campo magnético”</i>
6.	Linha de Luz	<i>“É quando os feixes quase alcançam a velocidade da luz, parando nas estações”</i>
7.	Anel de Armazenamento	<i>“Onde os elétrons são mantidos em uma trajetória estável no anel maior por ímãs”</i>
8.	Canhão de Elétrons	<i>“Vai disparar uma quantidade de elétrons pelos tubos”</i>
9.	Acelerador Linear	<i>“Elétrons liberado por um filamento de metal aquecido são impulsionados em um acelerador linear de 32 metros de comprimento para quase a velocidade da luz”</i>
10.	Estações Experimentais	<i>“Permitem a seleção da faixa de radiação que será usada para analisar as amostras”</i>
11.	Acelerador Sirius	<i>“Acelerador de partículas do Brasil, responsável por produzir luz síncrotron”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

No Quadro 44 é apresentado as respostas do *Est. 19* referente a atividade 1 (glossário). Ao analisarmos as definições feita pelo mesmo, julgamos que todos os termos, de forma resumida, foram bem definidos. No item 3, o estudante poderia ter acrescentado que a velocidade da luz é maior velocidade do universo e no item 11, poderia ter complementado o texto afirmando que o acelerador brasileiro é a maior e mais complexo infraestrutura científica do país.

Quadro 45 – Respostas do Est. 20 da Atividade 1 (Glossário).

Termos		Definições dada pelo Est. 20
1.	Aceleradores de Partículas	“São máquinas capazes de aumentar a velocidade de partículas (prótons, elétrons, átomos)”
2.	Síncrotron	“São ondas eletromagnéticas emitidas pela partícula que se move no círculo”
3.	Velocidade da Luz	“É uma constante de valor 3.10^8 km/s”
4.	Rede Magnética	“É a utilização de ímãs de dipolo ou onduladores que desviam a trajetória do elétrons”
5.	Radiação Eletromagnética	“Radiação emitida por partículas em campos eletromagnéticos”
6.	Linha de Luz	“A luz “desviadas” pelo plano tangente do elétron”
7.	Anel de Armazenamento	“Quando o elétron atinge a velocidade máxima é mantido no anel em velocidade constante”
8.	Canhão de Elétrons	“Que vai liberar os elétrons para o acelerador”
9.	Acelerador Linear	“Os elétrons liberados por um metal vão para o acelerador linear e recebem energia para percorrê-la”
10.	Estações Experimentais	“São selecionados, por meio de um primas, as faixas de radiação de acordo com o produto estudado”
11.	Acelerador Sirius	“Acelerador de partículas brasileiro que é capaz de produzir uma luz bilhões de vezes maior que o antigo”

Fonte: Autoria Própria, 2023.

No Quadro 45 é apresentado as respostas do *Est. 20* referente a atividade 1 (glossário). Ao analisarmos as definições feita pelo mesmo, julgamos que todos os termos, de forma simplificada, foram bem definidos. Assim como na análise anterior, no item 3, o estudante poderia ter acrescentado que a velocidade da luz é maior velocidade do universo e no item 11, poderia ter complementado o texto afirmando que o acelerador brasileiro é a maior e mais complexo infraestrutura científica do país.

Quadro 46 – Respostas do Est. 22 da Atividade 1 (Glossário).

Termos		Definições dada pelo Est. 22
1.	Aceleradores de Partículas	“Dispositivo que fornece energia as partículas eletricamente carregadas”
2.	Síncrotron	“Tipo de partícula organizada do anel tangencial”

3.	Velocidade da Luz	<i>“Velocidade da trajetória das partículas por segundo o espaço percorrido”</i>
4.	Rede Magnética	<i>“Abrange uma ampla faixa de energia”</i>
5.	Radiação Eletromagnética	<i>“Partículas que se propagam no vácuo transportando energia”</i>
6.	Linha de Luz	<i>“As estações experimentais onde os materiais são analisados”</i>
7.	Anel de Armazenamento	<i>“Manter os elétrons em uma trajetória estável”</i>
8.	Canhão de Elétrons	<i>“Componente elétrico que produz as partículas de elétrons”</i>
9.	Acelerador Linear	<i>“Libera elétrons por um filamento de metal aquecido”</i>
10.	Estações Experimentais	<i>“Fazem pesquisas com as partículas recebidas”</i>
11.	Acelerador Sirius	<i>“Fonte de radiação sícrotron”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

No Quadro 46 é apresentado as respostas do Est. 22 referente a atividade 1 (glossário). Ao analisarmos as definições feita pelo mesmo, observamos que algumas respostas estão equivocadas como no item 2 e 3. Outras respostas aparecem incompletas como no item 11. A luz sícrotron é gerada no acelerador após a partícula atingir uma velocidade próxima à velocidade da luz, que é a maior velocidade do universo, aproximadamente 3.10^5 km/s. Em relação ao acelerador Sirius, o estudante poderia ter acrescentado que, além de ser um acelerador brasileiro, é a maior infraestrutura de pesquisa do país.

Quadro 47 – Respostas do Est. 24 da Atividade 1 (Glossário).

Termos		Definições dada pelo Est. 24
1.	Aceleradores de Partículas	<i>“São máquinas capazes de aumentar a velocidade de uma partícula por meio de um campo magnético”</i>
2.	Sícrotron	<i>“Ondas eletromagnéticas emitidas pelas partículas que se movem pelo anel”</i>
3.	Velocidade da Luz	<i>“A maior velocidade conhecida (3.10^5 km/s)”</i>
4.	Rede Magnética	<i>“É onde os elétrons sofrem desvios de trajetória e perde fração de sua energia”</i>
5.	Radiação Eletromagnética	<i>“A luz que circula dentro do anel”</i>
6.	Linha de Luz	<i>“Luz sícrotron”</i>
7.	Anel de Armazenamento	<i>“É onde a luz que já atingiu a velocidade máxima fica (é conservada)”</i>
8.	Canhão de Elétrons	<i>“É onde o feixe de elétrons é disparado”</i>
9.	Acelerador Linear	<i>“São os laboratórios de estudos e análises”</i>
10.	Estações Experimentais	<i>“São os laboratórios de estudos e análises”</i>
11.	Acelerador Sirius	<i>“É o acelerador de partículas do Brasil”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

No Quadro 47 é apresentado as respostas do *Est. 24* referente a atividade 1 (glossário). Ao analisarmos as definições feita pelo mesmo, julgamos que a resposta do item 9 está equivocado. O acelerador linear é o local onde as amostras são analisadas através da luz síncrotron que foi gerada e no item 11, o estudante poderia ter mencionado que além de ser o acelerador de partículas do Brasil, é a maior e mais complexo infraestrutura científica do país.

Quadro 48 – Respostas do Est. 25 da Atividade 1 (Glossário).

Termos		Definições dada pelo Est. 25
1.	Aceleradores de Partículas	<i>“São máquinas capazes de aumentar a velocidade de uma partícula por meio de aplicação de campos elétricos e magnéticos”</i>
2.	Síncrotron	<i>“Se dá as ondas eletromagnéticas emitidas pelas partículas que se movem circularmente no anel acelerador de partículas”</i>
3.	Velocidade da Luz	<i>“A luz mais poderosa que é conhecida”</i>
4.	Rede Magnética	<i>“Quando passa entre os ímãs dipolo e ondulado perde uma fração de sua energia, no desvio de sua trajetória”</i>
5.	Radiação Eletromagnética	<i>“A luz produzida a partir desses aceleradores”</i>
6.	Linha de Luz	<i>“São as luzes produzidas a partir desses aceleradores de partículas, como por exemplo o raio x”</i>
7.	Anel de Armazenamento	<i>“Em sua máxima potência elétrica, o elétron é mantido de maneira fixa por um conjunto de ímãs especiais”</i>
8.	Canhão de Elétrons	<i>“O impulso inicial, a distribuição do primeiro elétron”</i>
9.	Acelerador Linear	<i>“Usado para impulsionar os elétrons que foram liberados através de um metal aquecido”</i>
10.	Estações Experimentais	<i>“Através dela é possível selecionar o tipo de radiação que será utilizada nas amostras”</i>
11.	Acelerador Sirius	<i>“Esse acelerador tem a capacidade de produzir uma luz mais potente de que a produzida pela UVX”</i>

Fonte: Aatoria Própria, 2023.

No Quadro 48 é apresentado as respostas do *Est. 25* referente a atividade 1 (glossário). Ao analisarmos as definições feita pelo mesmo, observamos que algumas respostas estão equivocadas como no item 3, 6 e 7. Outras respostas aparecem incompletas como no item 11. A velocidade da luz é a maior velocidade do universo, aproximadamente 3.10^5 km/s. A linha de luz é o local onde as amostras de materiais são analisadas no acelerador de partículas. A anel de armazenamento é o local onde a luz sícrotron é armazenada. Em relação ao acelerador Sirius, o estudante poderia ter acrescentado que, além de ser um acelerador brasileiro, é a maior infraestrutura de pesquisa do país. O acelerador UVX, mencionado pelo estudante, se referente ao acelerador anterior ao Sirius, com uma potência bem menor.

No primeiro momento, parece que estamos repetindo uma discussão que já foi feita durante a apresentação da maquete, mas essa atividade de leitura e de nomear esses elementos pode auxiliar no processo de apropriação dessas palavras novas, muitas das quais são novidades para os alunos, como “linha de luz”, “síncrotron”, “anel de armazenamento”, “acelerador linear”, “canhão de elétrons”, etc. Acreditamos que esse processo possa contribuir para uma sofisticação conceitual, permitindo que o estudante se aproprie desses novos termos.

Observamos também confusões por parte dos estudantes ao tentarem definir “linha de luz” e “estações experimentais”, colocando a mesma definição para ambos ou mencionando que um é o outro, como o *Est. 6* (Quadro 32) e o *Est. 10* (Quadro 36) ao escreverem que “linha de luz são as estações experimentais onde os materiais são analisados” e o *Est. 9* (Quadro 35) que definiu a linha de luz como uma estação de pesquisa que utiliza ondas eletromagnéticas. De acordo com Sintra (2022), linha de luz geralmente se refere a uma instalação em um laboratório de pesquisa, onde feixes de luz são usados para estudar materiais. Por outro lado, estações experimentais podem se referir a instalações mais amplas que abrangem uma variedade de experimentos, não se limitando necessariamente ao uso de luz, podendo incluir várias técnicas e instrumentos em diferentes áreas de pesquisa. Em resumo, a linha de luz é uma parte específica de uma instalação experimental mais ampla.

Também detectamos algumas respostas equivocadas, como no caso do *Est. 11* ao tentar definir linha de luz como “raio X, raio gama, produzida pela radiação ou partícula acelerada”, e o *Est. 24*, ao tentar definir que o acelerador linear são os laboratórios de estudo e análises. Vaiano (2018) define que o acelerador linear do Sirius se refere a uma parte específica do acelerador. É um tipo de dispositivo que acelera partículas em linha reta. O autor ainda cita que ela tem esse nome justamente porque ali os elétrons percorrem uma linha reta.

Apesar dessas observações, julgamos que os alunos conseguiram mostrar indícios de uma evolução em relação aos conhecimentos científicos da geração da luz síncrotron e da apropriação da nomenclatura de alguns termos técnicos, refinando assim os conhecimentos adquiridos ao longo do desenvolvimento da SD. Destacamos a importância dessa atividade de apropriação desses termos, pois, para a geração da luz síncrotron, é necessário o entendimento desses múltiplos componentes.

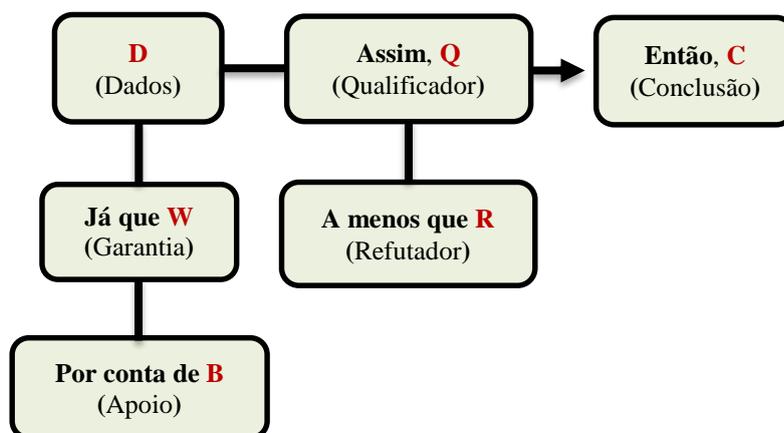
Outra atividade proposta na sequência didática e que também faz parte da segunda etapa da SEI – Sistematização do conhecimento foram três questões na atividade que definimos como “Compreensão e Sumário”.

Quadro 49 – Atividade (Compreensão e Sumário)

Questões da Atividade 4	
Q1.	Escreva um resumo, para alguém que não saiba nada sobre o Acelerador de Partículas Sirius e a Luz Síncrotron o que é, para que serve e onde se localiza.
Q2.	Descreva como a Luz Síncrotron é gerada no Sirius
Q3.	Descreva como os elétrons são acelerados.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

As três questões da atividade “Compreensão e Sumário” (apêndice H) tiveram como objetivo oportunizar aos estudantes a possibilidade de expressar suas ideias de forma mais completa, flexível, oportunizando diferentes perspectivas e opiniões de forma ativa sobre a temática que está sendo abordada na intervenção. Como mencionado na seção “metodologia”, para analisar as repostas dos estudantes nessa atividade utilizamos o Padrão de Argumento de Toulmin (TAP), representado na Figura 19, com o objetivo de estruturar argumentos, identificando os componentes do argumento, no intuito de torná-los mais claro, compreensível e de forma mais organizada (Quadros 50 – 75). Optamos em usar o TAP apenas nas duas primeiras questões.

Figura 22 - Modelo padrão de argumentação de Toulmin (TAP).

FONTE: TOULMIN, 2006.

Quadro 50 – Resposta do Est. 6 referente as duas primeiras questões da atividade 4.

Questões	Resposta do Estudante 6
Q1.	<i>“Acelerador de partículas é uma máquina capaz de acelerar partículas subatômicas carregadas, confinando-o em feixes estreitos, com aproximação da velocidade da luz. A luz síncrotron é uma ferramenta essencial na investigação da estrutura tridimensional de moléculas, que permite entender a fundo sua ação no organismo e os processos pelos quais um potencial fármaco deve ligar-se a ela”.</i>
Q2.	<i>“Sempre que os elétrons são desviados pelos campos magnéticos e forçados a fazerem uma curva, isto é, sempre que sofrem uma aceleração centrípeta, eles emitem radiação eletromagnética”.</i>

Fonte: Aatoria Própria, 2023.

Quadro 51 – Análise das respostas do Estudante 6 com o uso da TAP.

Elementos da TAP	TAP da Questão 1	TAP da Questão 2
Dados (D)	Os dados apresentados incluem informações sobre o funcionamento de um acelerador de partículas, que é capaz de acelerar partículas subatômicas carregadas, confinando-as em feixes estreitos, aproximando-se da velocidade da luz.	Os dados apresentados incluem a informação de que elétrons emitem radiação eletromagnética quando são desviados por campos magnéticos e experimentem aceleração centrípeta.
Garantia (W)	A garantia implícita aqui é que o uso da luz síncrotron é fundamental para a compreensão das estruturas tridimensionais das moléculas e o processo de interação dos fármacos com essas moléculas.	A garantia implícita aqui é que esse fenômeno da emissão de radiação eletromagnética por elétrons é uma consequência direta de sua aceleração centrípeta em campos magnéticos.
Qualificador (Q)	O qualificador não é explicitamente mencionado, mas pode estar implícito na ideia de que a luz síncrotron é “essencial” na pesquisa, sugerindo um alto grau de importância.	O qualificador não é explicitamente mencionado, mas pode ser implícito na ideia de que esse processo ocorre sempre que os elétrons sofrem aceleração centrípeta.
Apoio (B)	O apoio é a explicação do funcionamento do acelerador de partículas e sua capacidade de acelerar partículas subatômicas, bem como a afirmação de que a luz síncrotron é fundamental para a pesquisa de estruturas tridimensionais de moléculas.	O apoio é a explicação de como o fenômeno funciona, ou seja, a relação entre a aceleração centrípeta e a emissão de radiação eletromagnética, bem como a compreensão científica de que elétrons emitem radiação eletromagnética quando acelerados, o que é uma parte fundamental da Física moderna.
Refutador (R)	Não há uma refutação explícita no texto, mas poderia ter argumentando que a luz síncrotron não é a única ferramenta eficaz na pesquisa molecular e que existem outras abordagens.	Não há uma refutação explícita no texto, mas poderia ser questionado a relação causal entre a aceleração centrípeta dos elétrons e a emissão da radiação eletromagnética, talvez argumentando que outros fatores podem estar envolvidos.
Conclusão (C)	A conclusão é a afirmação de que a luz síncrotron desempenha um papel essencial na pesquisa molecular, permitindo uma compreensão mais profunda das moléculas e sua interação com potenciais fármacos.	A conclusão é a afirmação de que sempre que elétrons são acelerados, dessa maneira, eles emitem radiação eletromagnética.

Fonte: Aatoria Própria, 2023.

Quadro 52 – Resposta do Est. 7 referente as duas primeiras questões da atividade 4.

Questões	Resposta do Estudante 7
Q1.	<i>“O acelerador Sirius é a maior instalação científica do país, inaugurado em 2020 pelo governo do Brasil. O acelerador é usado para colocar partículas na velocidade da luz, ou perto, permitindo que se estude mais essa partícula e a luz síncrotron”</i>
Q2.	<i>“Uma partícula não pode atingir a velocidade maior que a luz, quando os ímãs no acelerador tentam forçar a partícula a superar a velocidade da luz, a partícula emite a luz síncrotron, que é a energia liberada pela partícula igual a velocidade que ela superaria a velocidade da luz”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Quadro 53 – Análise das respostas do Estudante 7 com o uso da TAP.

Elementos da TAP	TAP da Questão 1	TAP da Questão 2
Dados (D)	Os dados apresentados incluem informações sobre o acelerador Sirius, sua inauguração em 2020 e seu propósito de acelerar partículas.	Os dados apresentados incluem a ideia de que uma partícula não pode exceder a velocidade da luz e que, quando tenta fazê-lo sob a influência dos ímãs no acelerador, emite luz síncrotron.
Garantia (W)	A garantia implícita é que o acelerador Sirius é uma instalação científica importante e que acelerar partículas na velocidade da luz ou próxima e ela permite estudos mais aprofundados sobre as partículas e a luz síncrotron.	A garantia implícita é que a emissão de luz síncrotron é uma consequência direta da tentativa de uma partícula superar a velocidade da luz.
Qualificador (Q)	O qualificador não é explicitamente mencionado no texto do estudante 7, mas pode estar implícito na ideia de que o acelerador Sirius é a "maior" instalação científica do país", sugerindo sua relevância.	O qualificador não é explicitamente mencionado, mas pode ser implícito na ideia de que esse processo ocorre quando a partícula tenta exceder a velocidade da luz.
Apoio (B)	O apoio é a informações sobre a inauguração do Sirius e a explicação de que o acelerador Sirius faz e como ele contribui para a pesquisa científica.	O apoio para essa argumentação pode ser a compreensão científica de que a velocidade da luz é um limite absoluto na física, conforme postulado pela teoria da relatividade de Einstein
Refutador (R)	Não há uma refutação explícita no texto, mas o estudante poderia ter questionado a relevância ou eficácia do acelerador Sirius em comparação com outras instalações ou métodos de pesquisa.	Não há uma refutação explícita no texto, mas o estudante poderia ter questionado a relação causal entre a tentativa da partícula de superar a velocidade da luz e a emissão de luz síncrotron com base em teorias ou descobertas alternativas na física.
Conclusão (C)	A conclusão é a afirmação de que o acelerador Sirius é uma instalação importante para a pesquisa científica, especialmente no estudo de partículas e luz síncrotron	A conclusão é a afirmação de que a emissão de luz síncrotron está relacionada à tentativa de uma partícula de superar a velocidade da luz.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Quadro 54 – Resposta do Est. 8 referente as duas primeiras questões da atividade 4.

Questões	Resposta do Estudante 8
Q1.	<i>“O acelerador de partículas Sirius, localizado em Campinas-SP, é uma estrutura responsável por realizar pesquisas utilizando a luz síncrotron. Elétrons são acelerados a velocidades próximas da luz por ímãs em uma estrutura circular até certo ponto de ser dissipada uma energia em forma de luz (síncrotron)”</i>
Q2.	<i>“É gerada pela dissipação de energia da partícula acelerada na rede magnética do Sirius”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Quadro 55 – Análise das respostas do Estudante 8 com o uso da TAP.

Elementos da TAP	TAP da Questão 1	TAP da Questão 2
Dados (D)	Os dados apresentados incluem informações sobre a localização do acelerador de partículas Sirius em Campinas – SP e seu propósito de realizar pesquisas com a luz síncrotron.	Os dados apresentados incluem a informação de que a luz síncrotron é gerada com resultado da dissipação de energia da partícula acelerada na rede magnética do acelerador de partículas Sirius.
Garantia (W)	A garantia implícita é que o acelerador Sirius desempenha um papel importante na realização de pesquisas com a luz síncrotron, acelerando elétrons a velocidades próximas da luz.	A garantia implícita aqui é que a geração de luz síncrotron está diretamente relacionada à dissipação de energia da partícula acelerada na rede magnética do Sirius.
Qualificador (Q)	O qualificador não é explicitamente mencionado, mas pode estar implícito na ideia de que o acelerador Sirius é uma estrutura de pesquisa significativa.	O qualificador não é explicitamente mencionado, mas pode ser implícito na ideia de que esse processo de geração de luz síncrotron é uma consequência direta da dissipação de energia da partícula.
Apoio (B)	O apoio é o conhecimento geral sobre a importância da luz síncrotron na pesquisa científica e a descrição do funcionamento do acelerador Sirius, bem como a explicação de que acelerando elétrons a velocidades próximas da luz para gerar luz síncrotron para fins de pesquisa.	O apoio é a compreensão científica do funcionamento de aceleradores de partículas e da geração de luz síncrotron por meio da dissipação de energia.
Refutador (R)	Não há uma refutação explícita no texto, mas alguém poderia questionar a afirmação de que o acelerador Sirius é a única instalação capaz de realizar pesquisas com a luz síncrotron ou argumentar que outros aceleradores também desempenham um papel significativo na pesquisa de partículas.	Não há uma refutação explícita no texto, mas poderia ter questionado a validade da afirmação com base em teorias e descobertas alternativas na física.
Conclusão (C)	A conclusão é a afirmação de que o acelerador de partículas Sirius é uma estrutura importante para a pesquisa utilizando a luz síncrotron.	A conclusão é a afirmação de que a luz síncrotron é gerada por meio da dissipação de energia da partícula no acelerador de partículas Sirius.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Quadro 56 – Resposta do Est. 9 referente as duas primeiras questões da atividade 4.

Questões	Resposta do Estudante 9
Q1.	<i>“O acelerador de partículas Sirius é um acelerador de partículas e serve para acelerar os elétrons. Ele está localizado em Campinas, São Paulo, Brasil e é considerado o maior projeto da ciência brasileira. A luz síncrotron sai do anel tangencial e é enviada para as estações experimentais”</i>
Q2.	<i>“A luz síncrotron sai do anel tangencial e é enviada para as estações experimentais”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Quadro 57 – Análise das respostas do Estudante 9 com o uso da TAP.

Elementos da TAP	TAP da Questão 1	TAP da Questão 2
Dados (D)	Os dados apresentados incluem informações sobre o acelerador de partículas Sirius, sua localização, seu propósito de acelerar elétrons e a saída de luz síncrotron para estações experimentais.	Os dados apresentados incluem informações sobre a origem da luz síncrotron a partir do anel tangencial e o destino dessa luz nas estações experimentais.
Garantia (W)	A garantia implícita é que o acelerador Sirius é uma instalação científica de grande importância para o Brasil e que realiza com sucesso a aceleração de elétrons.	A garantia implícita é que o processo de emissão da luz síncrotron do anel tangencial e seu envio para as estações experimentais é parte do funcionamento normal do acelerador de partículas Sirius.
Qualificador (Q)	O qualificador não é explicitamente mencionado, mas pode estar implícito na afirmação de que o Sirius é considerado o maior projeto de ciência brasileira, sugerindo sua significância.	O qualificador não é explicitamente mencionado, mas pode ser implícito na ideia de que esse processo é uma etapa típica e necessária nas operações do acelerador.
Apoio (B)	O apoio é o conhecimento sobre a existência do acelerador Sirius e seu papel na pesquisa científica, bem como sua localização em Campinas e de como o acelerador funciona.	O apoio é a compreensão de como os aceleradores de partículas, como o Sirius funcionam, emitindo luz síncrotron para fins de pesquisa nas estações experimentais.
Refutador (R)	Não há uma refutação explícita no texto, mas alguém poderia questionar a validade da afirmação com base em outras instalações científicas ou projetos no Brasil que também são considerados significativos.	Não há uma refutação explícita no texto, mas o estudante poderia ter argumentado a eficácia desse processo de envio da luz síncrotron com base em alternativas ou desafios técnicos.
Conclusão (C)	A conclusão é a afirmação de que o acelerador de partículas Sirius é uma instalação científica importante no Brasil.	A conclusão é a afirmação de que a luz síncrotron é enviada para as estações experimentais, cumprindo assim um papel importante nas pesquisas realizadas no acelerador de partículas.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Quadro 58 – Resposta do Est. 10 referente as duas primeiras questões da atividade 4.

Questões	Resposta do Estudante 10
Q1.	<i>“O acelerador de partículas Sirius é responsável pela aceleração de elétrons, prótons e átomos carregados, a luz síncrotron é uma radiação eletromagnética que pode ser usada para a observação das estruturas internas dos materiais”</i>
Q2.	<i>“Assim que os elétrons são desviados pelos campos magnéticos e forçado a fazerem uma curva, isto é, sempre que sofrem uma aceleração centrípeta, ele emite radiação eletromagnética”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Quadro 59 – Análise das respostas do Estudante 10 com o uso da TAP.

Elementos da TAP	TAP da Questão 1	TAP da Questão 2
Dados (D)	Os dados apresentados incluem informações sobre o acelerador de partículas Sirius e sua função de acelerar elétrons, prótons e átomos carregados. Além disso, é mencionado que a luz síncrotron é uma radiação eletromagnética que pode ser usada para estudar as estruturas internas dos materiais.	Os dados apresentados incluem a informação de que elétrons emitem radiação eletromagnética quando são desviados por campos magnéticos e experimentam aceleração centrípeta
Garantia (W)	A garantia implícita é que o acelerador Sirius é uma fonte confiável para geração de luz síncrotron, que, por sua vez, é eficaz na absorção das estruturas internas dos materiais.	A garantia implícita aqui é que o processo de emissão de radiação eletromagnética pelos elétrons é uma consequência direta da aceleração centrípeta em campos magnéticos.
Qualificador (Q)	O qualificador não é explicitamente mencionado, mas pode estar implícito na afirmação de que a luz síncrotron “pode ser usada”, sugerindo que essa é uma aplicação possível, mas não necessariamente a única.	O qualificador não é explicitamente mencionado, mas pode ser implícito na ideia de que esse processo ocorre sempre que os elétrons sofrem aceleração centrípeta.
Apoio (B)	O apoio é o conhecimento científico sobre o funcionamento de aceleradores de partículas, como o Sirius, e a utilidade da luz síncrotron em pesquisas de materiais.	O apoio é a compreensão científica de que elétrons emitem radiação eletromagnética quando acelerados, o que é uma parte fundamental da física moderna.
Refutador (R)	Não há uma refutação explícita no texto, mas o estudante poderia questionar a validade da afirmação com base em alternativas ou desafios técnicos na pesquisa de materiais.	Não há uma refutação explícita no texto, mas o estudante poderia questionar a validade da afirmação como base em teorias alternativas ou descobertas na física.
Conclusão (C)	A conclusão é a afirmação de que o acelerador de partículas Sirius desempenha um papel importante na geração da luz síncrotron, que é valiosa para estudar as estruturas internas dos materiais.	A conclusão é a afirmação de que sempre que elétrons sofrem aceleração centrípeta, eles emitem radiação eletromagnética.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Quadro 60 – Resposta do Est.12 referente as duas primeiras questões da atividade 4.

Questões	Resposta do Estudante 12
Q1.	<i>“O Sirius é uma máquina que aumenta a velocidade de partículas e serve para fazer estudos, experimentos de diversas áreas do conhecimento. A luz síncrotron investiga a composição das estruturas. O Sirius fica localizado no interior de São Paulo”</i>
Q2.	<i>“Quando os elétrons sofrem uma aceleração, eles emitem radiação eletromagnética”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Quadro 61 – Análise das respostas do Estudante 12 com o uso da TAP.

Elementos da TAP	TAP da Questão 1	TAP da Questão 2
Dados (D)	Os dados apresentados incluem informações sobre o Sirius, sua função de aumentar a velocidade de partículas, a utilidade da máquina em estudos e experimentos de várias áreas do conhecimento, bem como a descrição da luz síncrotron e sua aplicação na investigação da composição das estruturas.	Os dados apresentados incluem a informação de que elétrons emitem radiação eletromagnética quando sofrem aceleração.
Garantia (W)	A garantia implícita é que o Sirius desempenha um papel importante em pesquisa e experimentos de várias áreas e que a luz síncrotron é eficaz na análise da composição das estruturas.	A garantia implícita é que a emissão de radiação eletromagnética pelos elétrons é uma consequência direta da aceleração.
Qualificador (Q)	O qualificador não é explicitamente mencionado, mas pode estar implícito na afirmação de que o Sirius “serve para fazer estudos” e que a luz síncrotron “investiga a composição das estruturas”, sugerindo que essas são aplicações possíveis.	O qualificador não é explicitamente mencionado, mas pode ser implícito na ideia de que esse processo ocorre sempre que os elétrons sofrem aceleração, sem exceção.
Apoio (B)	O apoio é o conhecimento sobre o funcionamento de aceleradores de partículas, como o Sirius, e a utilidade da luz síncrotron na análise de materiais.	O apoio é a compreensão científica do funcionamento dos elétrons e da emissão da radiação eletromagnética, o que é um princípio bem estabelecido na física.
Refutador (R)	Não há uma refutação explícita no texto, mas o estudante poderia questionar a validade da afirmação com base em outras tecnologias ou abordagens de pesquisa.	Não há uma refutação explícita no texto, mas o estudante poderia questionar a validade da afirmação com base em cenários específicos ou exceções em que a emissão de radiação eletromagnética não ocorre durante a aceleração de elétrons.
Conclusão (C)	A conclusão é a afirmação de que o Sirius é uma máquina útil para estudos e experimentos em diversas áreas do conhecimento, e a luz síncrotron é eficaz na análise da composição das estruturas.	A conclusão é a afirmação de que sempre que os elétrons sofrem aceleração, eles emitem radiação eletromagnética.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Quadro 62 – Resposta do Est. 15 referente as duas primeiras questões da atividade 4.

Questões	Resposta do Estudante 15
Q1.	<i>“O acelerador de partículas é uma estrutura de 4ª geração brasileira que se utiliza da aceleração de partículas dos elétrons para a produção de linhas síncrotron, que são um conjunto de linhas de luz (raio X, raio gama). Atualmente, o país tem um complexo bastante moderno”</i>
Q2.	<i>“São aqueles feixe de luz produzidos após o processo de aceleração de partículas desses elétrons que agiram a medida que a tensão da velocidade aceleram o processo”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Quadro 63 – Análise das respostas do Estudante 15 com o uso da TAP.

Elementos da TAP	TAP da Questão 1	TAP da Questão 2
Dados (D)	Os dados apresentados incluem informações sobre o acelerador de partículas, sua geração, o uso da aceleração de elétrons para produzir linha síncrotron e a afirmação de que o país possui um completo moderno.	Os dados apresentados incluem informações sobre a produção de feixes de luz após o processo de aceleração de partículas de elétrons e como a agitação desses elétrons está relacionada à aceleração da velocidade.
Garantia (W)	A garantia implícita é que o acelerador de partículas é uma tecnologia de 4ª geração que efetivamente utiliza a aceleração de elétrons para gerar linhas de luz síncrotron, incluindo raios X e raios gama.	A garantia implícita é que a produção de feixes de luz é uma consequência direta do processo de aceleração de partículas de elétrons e da agitação resultante da aceleração.
Qualificador (Q)	O qualificador não é explicitamente mencionado, mas pode estar implícito na ideia de que o país tem um complexo “bastante moderno”, sugerindo que a tecnologia é eficaz e atual.	O qualificador não é explicitamente mencionado, mas pode ser implícito na ideia de que esse processo ocorre em relação à aceleração da velocidade dos elétrons.
Apoio (B)	O apoio é o conhecimento sobre a tecnologia de aceleradores de partículas, a geração de linha síncrotron e a descrição de um complexo moderno.	O apoio é a compreensão científica de como elétrons acelerados geram radiação eletromagnética, o que é uma parte fundamental da física de partículas.
Refutador (R)	Não há uma refutação explícita no texto, mas o estudante poderia questionar a validade da afirmação com base em critérios específicos de modernidade ou comparando o complexo com instalações semelhantes em outros lugares do mundo.	Não há uma refutação explícita no texto, mas o estudante poderia questionar a validade da afirmação com base em teorias alternativas ou em cenários específicos de aceleração de elétrons.
Conclusão (C)	A conclusão é a afirmação de que o acelerador de partículas brasileiro é uma estrutura de 4ª geração eficaz que utiliza a aceleração de elétrons para produzir linhas de luz síncrotron.	A conclusão é a afirmação de que a produção de feixes de luz está diretamente relacionada ao processo de aceleração de partículas dos elétrons e à agitação resultante da aceleração.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Quadro 64 – Resposta do Est. 16 referente as duas primeiras questões da atividade 4.

Questões	Resposta do Estudante 16
Q1.	<i>“O acelerador Sirius está localizado em Campinas, São Paulo. Possui uma estrutura circular na qual um feixe de elétrons é lançado e acelerado até atingir a velocidade próxima à da luz. Neste processo, ele emite radiação ou luz síncrotron, utilizada no desenvolvimento de pesquisas”</i>
Q2.	<i>“O elétron, ao viajar no anel de armazenamento, passa por ímãs dipolares que mantêm a velocidade e causam pequenas mudanças na trajetória, resultando em pequenas perdas energéticas. Essas perdas são emitidas na forma de luz síncrotron”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Quadro 65 – Análise das respostas do Estudante 16 com o uso da TAP.

Elementos da TAP	TAP da Questão 1	TAP da Questão 2
Dados (D)	Os dados apresentados incluem informações sobre a localização do acelerador Sirius, sua estrutura circular, o processo de aceleração de elétrons e a emissão da radiação ou luz síncrotron para fins de pesquisa.	Os dados apresentados incluem informações sobre o elétron viajando no anel de armazenamento, a interação com ímãs dipolares, as mudanças na trajetória e a emissão de luz síncrotron como resultado das pequenas perdas energéticas.
Garantia (W)	A garantia implícita é que o acelerador Sirius funciona conforme descrito, incluindo a aceleração de elétrons e a emissão de luz síncrotron para pesquisas.	A garantia implícita é que o processo descrito de interação dos elétrons com os ímãs dipolares e a emissão de luz síncrotron como resultado das perdas energéticas é uma relação causal bem estabelecida.
Qualificador (Q)	O qualificador não é explicitamente mencionado, mas pode estar implícito na ideia de que o processo de emissão de luz síncrotron é parte integrante do funcionamento do Sirius.	O qualificador não é explicitamente mencionado, mas pode ser implícito na afirmação de que essas perdas são “pequenas”, o que sugere que não são significativas.
Apoio (B)	O apoio é o conhecimento científico sobre aceleradores de partículas e a utilização da luz síncrotron em pesquisas em várias áreas.	O apoio é a compreensão científica do funcionamento dos aceleradores de partículas, como o processo de emissão de luz síncrotron associado às perdas energéticas dos elétrons.
Refutador (R)	Não há uma refutação explícita no texto, mas o estudante poderia questionar a validade da afirmação com base em comparações com outras instalações de pesquisa ou em desafios técnicos específicos relacionados ao funcionamento do Sirius.	Não há uma refutação explícita no texto, mas o estudante poderia questionar a validade da afirmação com base em cálculos específicos ou considerações detalhadas sobre as perdas energéticas e a emissão da luz síncrotron.
Conclusão (C)	A conclusão é a afirmação de que o acelerador Sirius é eficaz na aceleração de elétrons e emissão de luz síncrotron, que é valiosa para pesquisas.	A conclusão é a afirmação de que as pequenas perdas energéticas dos elétrons durante o trajeto no anel de armazenamento resultam na emissão de luz síncrotron.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Quadro 66 – Resposta do Est. 19 referente as duas primeiras questões da atividade 4.

Questões	Resposta do Estudante 19
Q1.	<i>“É um acelerador de partículas que aumenta sua velocidade através do campo elétrico e magnético, localizado na cidade de Campinas, onde produz frequências de luz que são utilizadas para experimentos, a luz síncrotron, ondas eletromagnéticas emitidas pelas partículas, utilizadas em experimentos”</i>
Q2.	<i>“No interior do acelerador, um feixe de partículas de carga elétrica negativa, com espessura milhares de vezes menor que a de um fio de cabelo é gerada e mantida em um anelo circular de 518 m de circunferência”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Quadro 67 – Análise das respostas do Estudante 19 com o uso da TAP.

Elementos da TAP	TAP da Questão 1	TAP da Questão 2
Dados (D)	Os dados apresentados incluem informações sobre a localização (Campinas), o método de aumento de velocidade das partículas (campo elétrico e magnético), e o propósito da produção de frequências de luz para experimentos.	Os dados apresentados incluem informações sobre a natureza das partículas, sua carga elétrica negativa, a diferença de espessura em relação a um fio de cabelo e o tamanho do anel circular (518 metros de circunferência).
Garantia (W)	A garantia implícita é que o acelerador de partículas de Campinas é eficaz em produzir a luz síncrotron e que essa luz é útil em experimentos.	A garantia implícita é que o acelerador é capaz de gerar e manter esse feixe de partículas com essas características.
Qualificador (Q)	O texto não inclui um qualificador explícito, como “geralmente” ou “em muitos casos”, que poderia indicar a frequência desse processo.	O texto não inclui um qualificador explícito, como “geralmente” ou “em muitos casos”, que poderia indicar a frequência desse processo.
Apoio (B)	O apoio é a descrição do funcionamento do acelerador de partículas, do método de aumento de velocidade e da utilização da luz síncrotron em experimentos.	O apoio é a compreensão científica bem estabelecida sobre o funcionamento de aceleradores de partículas e a capacidade de manter feixes de partículas.
Refutador (R)	O texto não inclui uma refutação explícita para possíveis objeções. O estudante poderia questionar a eficácia do acelerador de partículas ou a relevância da luz síncrotron em experimentos.	O texto não inclui uma refutação explícita, mas o estudante poderia questionar a capacidade do acelerador em manter um feixe de partículas com as características mencionadas.
Conclusão (C)	A conclusão é de que o acelerador de partículas de Campinas é eficaz na produção da luz síncrotron para experimentos.	A conclusão é que no acelerador, um feixe de partículas de carga elétrica negativa, com espessura milhares de vezes menor que a de um fio de cabelo, é gerado e mantido em um anel circular de 518 metros de circunferência.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Quadro 68 – Resposta do Est. 20 referente as duas primeiras questões da atividade 4.

Questões	Resposta do Estudante 20
Q1.	<i>“O acelerador Sirius fica em Campinas (SP). É a maior fonte de luz síncrotron no Brasil. A luz síncrotron é uma luz emitida por um elétron acelerado que são utilizadas no estudo de matérias, moléculas, por meio das ondas do espectro do infravermelho ao visível”</i>
Q2.	<i>“Os elétrons passam por tubos circulares que contem ímãs que o aceleram ao atingirem velocidade semelhante a da luz. Os elétrons desviam uma luz pelo plano tangencial e essa luz vai para as estações”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Quadro 69 – Análise das respostas do Estudante 20 com o uso da TAP.

Elementos da TAP	TAP da Questão 1	TAP da Questão 2
Dados (D)	Os dados apresentados incluem informações sobre a localização do acelerador de Campinas, sua importância como a maior fonte de luz síncrotron no Brasil e o uso dessa luz no estudo de materiais e moléculas em várias faixas do espectro.	Os dados apresentados incluem informações sobre o processo de aceleração dos elétrons, o uso de tubos circulares com ímãs e a direção da luz resultante para as estações.
Garantia (W)	A garantia implícita é que o Sirius é de fato a maior fonte de luz síncrotron do Brasil e que essa luz é eficaz no estudo de materiais e moléculas em várias faixas do espectro.	A garantia implícita é que esse processo de aceleração dos elétrons e desvio da luz pelo plano tangencial é eficaz e ocorre de acordo com a descrição.
Qualificador (Q)	O texto não inclui um qualificador explícito, como “geralmente” ou “em muitos casos”, que poderia indicar a frequência desse uso.	O texto não inclui um qualificador explícito, como “geralmente” ou “em muitos casos”, que poderia indicar a frequência desse processo.
Apoio (B)	O apoio é pode ser a reputação do Sirius como uma instalação de pesquisa científica respeitável e a compreensão científica do funcionamento da luz síncrotron, bem como sua utilização nos estudos de materiais e moléculas.	O apoio é a descrição do processo, incluindo a aceleração dos elétrons, o desvio da luz e a direção da luz para as estações.
Refutador (R)	O texto não inclui uma refutação explícita, mas o estudante poderia questionar a eficácia do Sirius como a maior fonte de luz síncrotron no Brasil ou a relevância dessa luz em estudos de materiais e moléculas.	O texto não inclui uma refutação explícita, mas o estudante poderia questionar a eficácia desse processo de aceleração de elétrons e desvio de luz.
Conclusão (C)	A conclusão é que o Sirius é a maior fonte de luz síncrotron no Brasil e que essa luz é utilizada no estudo de materiais e moléculas em várias faixas do espectro.	A conclusão é que os elétrons são acelerados e desviam uma luz pelo plano tangencial, que é direcionada para as estações.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Quadro 70 – Resposta do Est. 22 referente as duas primeiras questões da atividade 4.

Questões	Resposta do Estudante 22
Q1.	<i>“Localizada em Campinas – SP, o acelerador de partículas Sirius é uma máquina capaz de aumentar a velocidade de uma partícula para produzir a luz síncrotron (ondas eletromagnéticas emitida pelas partículas) servindo para pesquisas acadêmicas relacionadas a energia, ao meio ambiente, etc”.</i>
Q2.	<i>“Sempre que os elétrons são desviados pelos campos magnéticos e são forçados a fazerem a curva, ou seja, quando sofrem uma aceleração, eles emitem radiação eletromagnética”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Quadro 71 – Análise das respostas do Estudante 22 com o uso da TAP.

Elementos da TAP	TAP da Questão 1	TAP da Questão 2
Dados (D)	Os dados apresentados incluem informações sobre a localização do acelerador de partículas (Campinas – SP) e sua capacidade de aumentar a velocidade das partículas para produzir luz síncrotron, bem como o propósito de servir para pesquisas acadêmicas em diversas áreas, como energia e meio ambiente.	Os dados apresentados são que os elétrons emitem radiação eletromagnética quando são desviados por campos magnéticos e acelerados.
Garantia (W)	A garantia implícita é que o Sirius é uma ferramenta eficaz para pesquisas acadêmicas nas áreas mencionadas.	A garantia implícita é que esse fenômeno ocorre consistentemente sempre que os elétrons são acelerados dessa maneira.
Qualificador (Q)	O texto não inclui um qualificador explícito, como “provavelmente” ou “possivelmente”, que geralmente indicaria a força da afirmação.	O texto não inclui um qualificador explícito, como “geralmente” ou “em muitos casos”, que poderia indicar a frequência desse fenômeno.
Apoio (B)	O apoio é a descrição das capacidades do Sirius, como aumentar a velocidade de partículas e produzir luz síncrotron, além de sua utilidade para pesquisas acadêmicas em várias áreas.	O apoio é a explicação do fenômeno de emissão de radiação eletromagnética quando os elétrons são acelerados em campos magnéticos.
Refutador (R)	O texto não inclui uma refutação explícita, mas o estudante poderia questionar a eficácia do Sirius para pesquisas acadêmicas ou sua relevância nas áreas mencionadas.	O texto não inclui uma refutação explícita, mas o estudante poderia ter questionado a relação entre a aceleração dos elétrons e a emissão da radiação eletromagnética.
Conclusão (C)	A conclusão é que o Sirius é uma máquina eficaz para pesquisas acadêmicas relacionadas à energia, meio ambiente, etc.	A conclusão é que os elétrons emitem radiação eletromagnética quando são desviados e acelerados.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Quadro 72 – Resposta do Est. 24 referente as duas primeiras questões da atividade 4.

Questões	Resposta do Estudante 24
Q1.	<i>“É o acelerador de elétrons do Brasil, que utiliza um campo magnetizado por ímãs para acelerar um elétron (partícula) até a velocidade da luz, fazendo com que seu excesso (luz síncrotron) seja retirado pela tangente, direcionado à estação experimental”</i>
Q2.	O estudante não respondeu essa questão!

Fonte: Aatoria Própria, 2023.

Quadro 73 – Análise das respostas do Estudante 24 com o uso da TAP.

Elementos da TAP	TAP da Questão 1	TAP da Questão 2
Dados (D)	Os dados apresentados incluem informações sobre o funcionamento do acelerador de elétrons, que utiliza um campo magnético gerado por ímãs para acelerar o elétron e direcionar a luz síncrotron à estação experimental.	O estudante não respondeu a questão 2!
Garantia (W)	A garantia implícita é que o acelerador de elétrons do Brasil é eficaz em acelerar elétrons e gerar luz síncrotron para pesquisas na estação experimental.	
Qualificador (Q)	O texto não inclui um qualificador explícito, como “provavelmente” ou “possivelmente”, que geralmente indicaria a força da afirmação.	
Apoio (B)	O apoio é a descrição do funcionamento do acelerador de elétrons e a geração de luz síncrotron para pesquisas na estação experimental.	
Refutador (R)	O texto não inclui uma refutação explícita, mas o estudante poderia questionar a eficácia do acelerador de elétrons do Brasil ou a necessidade da estação experimental.	
Conclusão (C)	A conclusão é de que o acelerador de elétrons do Brasil é capaz de acelerar elétrons e direcionar a luz síncrotron à estação experimental.	

Fonte: Aatoria Própria, 2023.

Quadro 74 – Resposta do Est. 25 referente as duas primeiras questões da atividade 4.

Questões	Resposta do Estudante 25
Q1.	<i>“O acelerador de partículas Sirius é uma instalação científica de última geração, localizado em Campinas, São Paulo. Ele abriga um dispositivo chamado luz síncrotron, que gera uma luz altamente intensa e brilhante. O Sirius é utilizado para estudar a estrutura e propriedades de materiais em escala microscópica, beneficiando diversas áreas da ciência e tecnologia”</i>
Q2.	<i>“A luz síncrotron no Sirius é gerada por meio da aceleração de elétrons em um anel de armazenamento circular”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Quadro 75 – Análise das respostas do Estudante 25 com o uso da TAP.

Elementos da TAP	TAP da Questão 1	TAP da Questão 2
Dados (D)	Os dados apresentados incluem informações sobre a localização (Campinas, São Paulo) e a função do Sirius como um gerador de luz síncrotron para estudos microscópicos de materiais.	Os dados apresentados incluem informações sobre o processo de geração da luz síncrotron, que envolve a aceleração de elétrons em um anel de armazenamento circular.
Garantia (W)	A garantia implícita é que o Sirius é uma instalação científica eficaz e de última geração para realizar esses estudos e que beneficia diversas áreas da ciência e tecnologia.	A garantia implícita é que esse processo de aceleração de elétrons em um anel de armazenamento circular é eficaz na geração da luz síncrotron.
Qualificador (Q)	O texto não inclui um qualificador explícito, como “provavelmente” ou “possivelmente”, que geralmente indicaria a força da afirmação.	O texto não inclui um qualificador explícito, como “geralmente” ou “em muitos casos”, que poderia indicar a frequência desse processo.
Apoio (B)	O apoio é a descrição das capacidades do Sirius como uma instalação de pesquisa científica respeitável, com o dispositivo de luz síncrotron e seu potencial impacto em diversas áreas.	O apoio é a descrição do processo de aceleração de elétrons no anel de armazenamento circular para gerar a luz síncrotron e a compreensão científica bem estabelecida dos aceleradores de partículas.
Refutador (R)	O texto não inclui uma refutação explícita, mas o estudante poderia questionar a eficácia do Sirius ou a extensão de seu impacto nas áreas da ciência e tecnologia.	O texto não inclui uma refutação explícita, mas o estudante poderia questionar a eficácia desse processo na geração da luz síncrotron.
Conclusão (C)	A conclusão é que o Sirius é uma instalação científica de última geração que beneficia diversas áreas da ciência e tecnologia.	A conclusão é que a luz síncrotron no Sirius é produzida por meio da aceleração de elétrons em um anel de armazenamento circular.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Através da análise dos resultados com base na TAP, observamos que alguns estudantes (*Est. 6, 10, 12, 15, 19 e 24*) apresentaram argumentos com uma linguagem mais científica e técnica, fornecendo dados (D) mais detalhados sobre o uso do acelerador para acelerar elétrons, tendo como apoio (B) a geração da luz síncrotron e, como garantia (W), a tecnologia do Sirius como de quarta geração.

Por outro lado, alguns estudantes optaram por um viés mais voltado para a divulgação, com textos informativos, como no texto do *Est. 7* “O acelerador Sirius é a maior instalação científica do país, foi inaugurado em 2020 pelo governo do Brasil” ou dos *Est. 8, 9, 16, 20 e 22*, que mencionaram a localização em Campinas/SP.

Apesar das múltiplas abordagens, o que era esperado, dado o público de Ensino Superior, todos os estudantes apresentaram argumentos sólidos alinhados ao funcionamento do acelerador de partículas com a geração da luz síncrotron, utilizando nomenclaturas técnicas e demonstrando sofisticação conceitual. Nos dados (D), apresentaram informações, fatos ou evidências que fundamentaram suas argumentações, como “o campo magnético gerado por ímãs para acelerar os elétrons” (*Est. 24*) ou “o uso dessa luz em estudos de materiais e moléculas em várias áreas do conhecimento” (*Est. 12*).

Nas garantias (W), de um modo geral, os estudantes conseguiram estabelecer a conexão entre os dados (D) apresentados e a conclusão (C), oferecendo garantias sólidas para fortalecer a argumentação, como “o acelerador Sirius é uma tecnologia de quarta geração que efetivamente utiliza a aceleração de elétrons” (*Est. 15*) ou “que o a acelerador Sirius é eficaz em produzir luz síncrotron e essa luz é útil em experimentos” (*Est. 19*).

Julgamos que a atividade foi realizada com êxito, e o uso da TAP colaborou para uma análise mais estruturada, com indícios de mobilização de conceitos físicos nas explicações dos estudantes. Observamos a presença dos dados, das garantias e do conhecimento científico-técnico, mesmo a atividade solicitasse uma explicação voltada para um público sem conhecimento prévio sobre o acelerador de partículas Sirius e a luz síncrotron.

6.2.4 Resultados Referente a Terceira Etapa da SEI

Na Terceira Etapa da SEI – Contextualização e Aprofundamento do Conhecimento, foram propostas três atividades. Na primeira, os estudantes participaram de uma atividade intitulada “Luz síncrotron e o acelerador de partículas Sirius: fato ou ficção”. Nessa tarefa, eles avaliaram assertivas como verdadeiras ou falsas, proporcionado uma análise rápida do entendimento sobre a luz síncrotron e o acelerador Sirius.

A segunda atividade envolveu a leitura de um artigo intitulado “Superlaboratório Sirius ajuda a revelar detalhes inéditos da reprodução do vírus da Covid-19”, com uma questão subsequente baseada na leitura. Já na terceira atividade, denominada “Linhas e estações experimentais”, os estudantes leram um texto específico e responderam a perguntas relacionadas a esse conteúdo.

No Quadro 76 apresenta os resultados percentual da atividade de verdadeiro ou falso, enquanto os Quadros 77 ao 82 exibem os comentários dos estudantes sobre essa atividade.

Quadro 76 – Atividade 3 (Luz Síncrotron e o Acelerador de Partículas: verdadeiro ou falso).

Afirmativas		Resposta Correta	Acertos	Erros
1.	A luz síncrotron é um tipo de radiação eletromagnética que estende por um amplo espectro desde o infravermelho, passando pela luz visível e pela radiação ultravioleta e chegando aos raios X.	Verdadeiro	62,5%	37,5%
2.	Com o uso dessa luz especial é possível penetrar na matéria e revelar características de sua estrutura molecular e atômica para a investigação de todo tipo de material.	verdadeiro	87,5%	12,5%
3.	Devido seu brilho não ser tão brilhante, não é possível realizar nenhum tipo de análise com as radiações.	Falso	100%	0%
4.	Com a luz síncrotron é permitido experimentos extremamente rápidos e a investigação de detalhes dos materiais além de acompanhar a evolução no tempo de processos físicos, químicos e biológicos.	Verdadeiro	87,5%	12,5%
5.	A fonte de luz síncrotron brasileira, Sirius, está localizada na cidade do Rio de Janeiro	Falso	100%	0%
6.	O Sirius, a maior e mais complexa infraestrutura científica do país é um espaço voltado só para os pesquisadores que desenvolvem suas pesquisas nos laboratórios. Não é aberto para o público em geral.	Falso	50%	50%

Fonte: Autoria Própria, 2023.

O propósito dessa abordagem foi avaliar a compreensão e a retenção de informações acerca da luz síncrotron e do acelerador Sirius. Cada estudante teve a oportunidade de justificar suas respostas, oferecendo uma visão mais aprofundada sobre o entendimento individual desses conceitos.

Quadro 77 – Justificativa dos estudantes da assertiva 1 da atividade de contextualização e aprofundamento.

Comentários e Marcações dos Estudantes sobre a primeira assertiva	
Est. 6	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Falso)
Est. 7	<i>“É obtida ao se modificar a trajetória de uma partícula com ímãs”</i> (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 8	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 9	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Falso)
Est. 10	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 11	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 12	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Falso)
Est. 15	<i>“A intenção é utilizar a energia luminosa nas células”</i> (Marcação do Est.: Falso)
Est. 16	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 19	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 20	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 22	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Falso)
Est. 24	<i>“Alta abrangência do espectro”</i> (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 25	<i>“A luz síncrotron abrange um amplo espectro eletromagnético que vai do infravermelho ao Raio X”</i> (Marcação do Est.: Verdadeiro)

Fonte: Autoria Própria, 2023.

A análise dos comentários dos estudantes (Quadro 77) revela uma variedade de compreensões em relação à pergunta sobre a luz síncrotron. Enquanto alguns estudantes forneceram justificativas claras, outros não explicaram suas respostas. O *Est. 7* menciona a obtenção da luz síncrotron ao modificar a trajetória de uma partícula com ímãs. Fornece uma explicação relacionada ao processo de geração. Os *Est. 8, 10, 11, 16, 19, 20 e 22* não justificaram suas respostas. A falta de justificativa limita a compreensão do raciocínio por trás de suas escolhas.

O *Est. 15* indica a intenção de utilizar a energia luminosa nas células. Embora mencione a energia luminosa, a resposta não aborda diretamente a amplitude do espectro eletromagnético. Já o *Est. 24* destaca a alta abrangência do espectro, fornecendo uma resposta mais abrangente e o *Est. 25* oferece uma resposta clara, indicando que a luz síncrotron abrange um espectro que vai do infravermelho ao raio x. demonstra uma compreensão mais completa.

Em resumo, apesar 62,5% dos estudantes terem acertado essa questão, marcando a assertiva como verdadeira, poucos justificaram suas respostas, limitando a clareza de seus entendimentos. No entanto, alguns conseguiram articular adequadamente a relação entre a luz síncrotron e o espectro eletromagnético.

Quadro 78 – Justificativa dos estudantes da assertiva 2 da atividade de contextualização e aprofundamento.

Comentários e Marcações dos Estudantes sobre a segunda assertiva	
Est. 6	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 7	<i>“Vários estudos são feitos com a luz síncrotron dessa forma”</i> (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 8	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 9	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 10	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 11	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 12	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Falso)
Est. 15	<i>“A ideia é utilizar essa energia para penetrar os materiais”</i> (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 16	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 19	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 20	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 22	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 24	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 25	<i>“A luz síncrotron é conhecida por seu brilho intenso”</i> (Marcação do Est.: Falso)

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Em relação ao Quadro 78, observamos que os estudantes apresentaram diferentes níveis de justificção para a assertiva. Alguns como o *Est. 7* e o *Est. 15*, oferecem explicações mais elaboradas, indicando que a luz síncrotron é utilizada para realizar estudos e penetrar na matéria. Entretanto, outros, como os *Est. 8, 10, 11, 16, 19, 20 e 22*, não forneceram justificções, dificultando a compreensão de seu entendimento sobre o tópico.

O *Est. 25* menciona o brilho intenso da luz síncrotron, o que, embora relacionado, não aborda diretamente a capacidade de penetrar na matéria para investigções. 87,5 % dos estudantes acertaram essa questão, marcando como verdadeira essa assertiva.

Quadro 79 – Justificativa dos estudantes da assertiva 3 da atividade de contextualização e aprofundamento.

Comentários e Marcações dos Estudantes sobre a terceira assertiva	
Est. 6	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Falso)
Est. 7	<i>“Todos os tipos de estudos são feitos com o brilho. O Brasil consegue obter o maior brilho”</i> (Marcação do Est.: Falso)
Est. 8	<i>“Pelo contrário, devido ao alto brilho, são tratados diversos experimentos com espectros da luz”</i> (Marcação do Est.: Falso)
Est. 9	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Falso)
Est. 10	<i>“As estações utilizam a luz nas análises”</i> (Marcação do Est.: Falso)
Est. 11	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Falso)
Est. 12	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Falso)
Est. 15	<i>“A luz emitida após essa aceleração dos elétrons é capaz de penetrar as células”</i> (Marcação do Est.: Falso)
Est. 16	<i>“A luz síncrotron é ideal para análises por sua abundante quantidade de brilho”</i> (Marcação do Est.: Falso)
Est. 19	<i>“Pois as estações utilizam as radiações nos projetos”</i> (Marcação do Est.: Falso)
Est. 20	<i>“As estações para onde a luz vai fazem análise da matéria com ela”</i> (Marcação do Est.: Falso)
Est. 22	<i>“Pois emite brilho e são feitas pesquisas”</i> (Marcação do Est.: Falso)
Est. 24	<i>“É o que ele faz”</i> (Marcação do Est.: Falso)
Est. 25	<i>“É possível experimentos extremamente rápidos e investiga detalhes dos materiais”</i> (Marcação do Est.: Falso)

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Observamos, no Quadro 79, que todos os estudantes acertaram essa questão, apresentando compreensão adequada, indicando que o brilho intenso da luz síncrotron é utilizado em várias análises e experimentos. Expressões como “o Brasil consegue obter o maior brilho” (*Est. 7*) e “é possível experimentos extremamente rápidos e investiga detalhes dos materiais” (*Est. 25*) destacam a eficiência da luz síncrotron em pesquisas.

A maioria dos estudantes ofereceu justificativas claras, abordando como o brilho intenso é aproveitado nas análises de materiais. No entanto, o *Est. 11* não forneceu uma justificativa específica para sua resposta. Em geral, os comentários indicam uma compreensão satisfatória da utilidade do brilho da luz síncrotron em experimentos científicos.

Quadro 80 – Justificativa dos estudantes da assertiva 4 da atividade de contextualização e aprofundamento.

Comentários e Marcações dos Estudantes sobre a quarta assertiva	
Est. 6	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 7	<i>“Presumo que os experimentos não sejam rápidos”</i> (Marcação do Est.: Falso)
Est. 8	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 9	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Falso)
Est. 10	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 11	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 12	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 15	<i>“O grande avanço tecnológico permitido através dessa tecnologia acelerar processos dos materiais”</i> (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 16	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 19	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 20	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 22	<i>“Os materiais são analisados assim que chegam as estações experimentais”</i> (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 24	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 25	<i>“A luz síncrotron é uma ferramenta poderosa de pesquisa”</i> (Marcação do Est.: Verdadeiro)

Fonte: Autoria Própria, 2023.

A maioria dos estudantes compreende corretamente que a luz síncrotron permite experimentos extremamente rápidos e a investigação detalhada de materiais, além de acompanhar a evolução temporal de processos físicos, químicos e biológicos. Expressões como “o grande avanço tecnológico permitindo, através dessa tecnologia, acelerar processos dos materiais” (*Est. 15*) e “os materiais são analisados assim que chegam às estações experimentais” (*Est. 22*) indicam uma percepção correta sobre a capacidade da luz síncrotron.

Entretanto, o *Est. 7* expressa uma presunção de que os experimentos não são rápidos, o que pode indicar uma falta de clareza sobre a eficiência dos experimentos com a luz síncrotron. O *Est. 25* destaca que a luz síncrotron é uma “ferramenta poderosa de pesquisa”, reforçando a ideia de sua utilidade em experimentos variados. Em geral, os comentários evidenciam uma compreensão satisfatória do papel da luz síncrotron em experimentos rápidos e na investigação detalhada de materiais.

Quadro 81 – Justificativa dos estudantes da assertiva 5 da atividade de contextualização e aprofundamento.

Comentários e Marcações dos Estudantes sobre a quinta assertiva	
Est. 6	“Campinhas – SP” (Marcação do Est.: Falso)
Est. 7	“Campinas – SP” (Marcação do Est.: Falso)
Est. 8	“É localizado em Campinas – SP” (Marcação do Est.: Falso)
Est. 9	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Falso)
Est. 10	“Está localizado em Campinas” (Marcação do Est.: Falso)
Est. 11	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Falso)
Est. 12	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est.: Verdadeiro)
Est. 15	“Está localizado em Campinas – SP” (Marcação do Est.: Falso)
Est. 16	“O Sirius está em Campinas, estado de São Paulo” (Marcação do Est.: Falso)
Est. 19	“Cidade de Campinas” (Marcação do Est.: Falso)
Est. 20	“Se localiza em Campinas (SP)” (Marcação do Est.: Falso)
Est. 22	“Está em Campinas, São Paulo” (Marcação do Est.: Falso)
Est. 24	“É em Campinas – SP” (Marcação do Est.: Falso)
Est. 25	“Falso, não está localiza lá (no Rio de Janeiro)” (Marcação do Est.: Falso)

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Todos os estudantes responderam corretamente que a fonte de luz síncrotron brasileira, Sirius, não está localizada na cidade do Rio de Janeiro. As justificativas fornecidas foram consistentes e indicaram que os estudantes têm conhecimento de que o Sirius está em Campinas, São Paulo. Expressões como “Está localizado em Campinas-SP” (*Est. 15*) e “Se localiza em Campinas (SP)” (*Est. 20*) demonstram uma compreensão clara da localização do Sirius. Essa questão foi respondida de maneira acertada por todos, sugerindo uma informação consolidada sobre o local do Sirius.

Quadro 82 – Justificativa dos estudantes da assertiva 6 da atividade de contextualização e aprofundamento.

Comentários e Marcações dos Estudantes sobre a sexta assertiva	
Est. 6	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est. Verdadeiro)
Est. 7	<i>“É aberto com programas próprios de visitação”</i> (Marcação do Est. Falso)
Est. 8	<i>“É possível ter excursões assim como visitas técnicas ao laboratório”</i> (Marcação do Est. Falso)
Est. 9	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est. Verdadeiro)
Est. 10	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est. Verdadeiro)
Est. 11	<i>“É aberto para alguns públicos”</i> (Marcação do Est. Falso)
Est. 12	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est. Verdadeiro)
Est. 15	<i>“Pelo contrário, a necessidade de fazer essa tecnologia chegar ao público faz que eles selecionem professores para visitar”</i> (Marcação do Est. Falso)
Est. 16	<i>“Existe visitação ao Sirius e professores são convidados anualmente a conhece-lo”</i> (Marcação do Est. Falso)
Est. 19	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est. Verdadeiro)
Est. 20	Questão não justificada pelo estudante! (Marcação do Est. Verdadeiro)
Est. 22	<i>“Pois serve para mais além de pesquisas”</i> (Marcação do Est. Falso)
Est. 24	<i>“Não lembro de nenhum comentário de ser aberto ao público”</i> (Marcação do Est. Falso)
Est. 25	<i>“É a maior e mais complexa infraestrutura científica do Brasil”</i> (Marcação do Est. Verdadeiro)

Fonte: Autoria Própria, 2023.

A assertiva sobre a acessibilidade do Sirius para o público gerou respostas divididas entre verdadeiro e falso. Algumas respostas indicam um entendimento correto de que o Sirius não é aberto ao público em geral, como as afirmações “É aberto com programas próprios de visitação” (*Est. 7*) e “É possível ter excursões assim como visitas técnicas ao laboratório” (*Est. 8*). No entanto, algumas respostas sugerem uma possível confusão ou falta de clareza sobre essa questão, como “É aberto para alguns públicos” (*Est. 11*) e “Pois serve para mais além de pesquisas” (*Est. 22*).

Esse resultado pode indicar que, embora alguns estudantes tenham compreendido corretamente a limitação de acesso ao Sirius, outros podem não ter recebido informações suficientes sobre a política de visitação do local. Seria útil esclarecer essa informação para garantir uma compreensão mais precisa por parte dos estudantes.

De modo geral, tivemos um pouco de dificuldade de análise nessa atividade 3. O fato de alguns estudantes não justificarem suas respostas, simplesmente colocando verdadeiro ou falso, dificultou, do ponto de vista do pesquisador, a compreensão dos motivos que os levaram a compreensão de seu entendimento. Também detectamos que alguns estudantes não

conseguiram visualizar a luz pertencente a um amplo espectro e, na última assertiva, pode ter havido um mau entendimento dos estudantes em relação ao Sirius ser aberto ao público.

Posteriormente, os estudantes foram para a próxima atividade, como mencionado anteriormente, traz um texto de artigo sobre a colaboração do Sirius para estudos referentes ao vírus da Covid-19. Essa atividade entra como a terceira etapa da SEI na parte de contextualização. O texto menciona as primeiras imagens feitas da proteína do vírus. Após a leitura desse artigo, os estudantes teriam que desenvolver a atividade referente a esse texto. O Quadro 83 traz a pergunta referente ao texto da Covid e o Quadro 84 trata das respostas dos estudantes referente a esse texto.

Quadro 83 – Atividade de Contextualização – 3ª etapa da SEI.

1.	De acordo com o artigo, porque o Sirius foi importante no combate a Covid?
----	--

Fonte: Autorial Própria, 2023.

Quadro 84 – Respostas dos estudantes sobre a atividade de contextualização – 3ª Etapa da SEI.

Comentários dos Estudantes	
Est. 6	<i>“Porque fez as primeiras imagens do coronavírus”</i>
Est. 7	<i>“Pode ajudar a compreender processos de metabolismo do vírus”</i>
Est. 8	<i>“Foi possível evidenciar as estrutura e comportamento reprodutivo do vírus, permitindo avaliar possíveis fármacos de inibição para esse comportamento”</i>
Est. 9	<i>“Foi importante para descobrir detalhes inéditos do processo de reprodução do Sars-cov-2, vírus causador da covid-19, entre outros”</i>
Est. 10	<i>“Produção de novos fármacos, pois descobriram algumas coisas sobre a variante”</i>
Est. 11	Não respondeu essa atividade!
Est. 12	<i>“Para revelar detalhes inéditos da reprodução do vírus da covid-19”</i>
Est. 15	<i>“Porque é possível perceber que as partes do vírus, além de facilitar a análise das proteínas e as formas como se multiplicar para infectar a célula”</i>
Est. 16	<i>“Ajudou a perceber o processo de ação da proteína e, assim replicar o vírus da covid nas células infectadas. Com esta identificação a reprodução poderá ser interrompida, encerrando o processo de infecção”</i>
Est. 19	<i>“Descobriram detalhes do processo de reprodução do sar-cov2, com isso abre em caminho para produção de fármacos”</i>
Est. 20	<i>“A partir da luz foi possível entender como o vírus se reproduzia”</i>
Est. 22	<i>“Porque passou a compreender processos de metabolismo dessa prótese do coronavírus até então desconhecidos”</i>
Est. 24	<i>“Porque conseguiram detalhes/estudos sobre a reprodução do vírus, exatamente onde a indústria farmacêutica pode atuar”</i>

Est. 25	<i>“O Sirius permitiu estudos avançados sobre o vírus e suas interações com materiais e medicamentos. Isso possibilitou a pesquisa de novos tratamentos, vacinas e materiais de proteção, acelerando o progresso na compreensão e enfrentamento da pandemia de forma mais eficaz”</i>
----------------	---

Fonte: Autoria Própria, 2023.

As respostas dos estudantes indicam uma compreensão sólida sobre a importância do Sirius no combate à Covid-19, revelando uma variedade de detalhes específicos. As justificativas abrangem desde a capacidade de fazer as primeiras imagens do coronavírus até a compreensão dos processos de metabolismo do vírus. Destacam-se algumas respostas, como a do *Est. 8*, que mencionam a evidência da estrutura e comportamento reprodutivo do vírus, fornecendo detalhes cruciais para avaliar possíveis fármacos de inibição. Por outro lado, algumas respostas, como a do *Est. 10*, mencionam a produção de novos fármacos e a descoberta de detalhes sobre a variante, ampliando ainda mais o escopo da contribuição do Sirius.

Destacamos a resposta do *Est. 16*, que enfatiza a importância do Sirius ao perceber o processo de ação da proteína viral, permitindo replicar o vírus nas células infectadas e identificar caminhos para interromper a reprodução.

É notável que a maioria dos estudantes reconhece a contribuição do Sirius na descoberta de detalhes inéditos do processo de reprodução do Sars-Cov-2. A resposta do *Est. 25* se destaca ao mencionar não apenas a pesquisa de tratamentos e vacinas, mas também a aceleração do progresso na compreensão e enfrentamento da pandemia de forma mais eficaz.

Em resumo, as respostas indicam uma sólida compreensão do papel do Sirius no contexto da pesquisa sobre a Covid-19, com destaque para a diversidade de aspectos abordados pelos estudantes.

Após essa atividade, finalizamos a intervenção didática do primeiro dia. Duas semanas depois, apenas onze estudantes participaram do segundo dia da intervenção, devido à semana de provas da Universidade, em que alguns optaram por passar a tarde estudando para as provas. A análise desse segundo dia foi feita apenas com esses onze estudantes.

O início do segundo dia incluiu três vídeos sobre a construção e o funcionamento do Sirius. Em seguida, os estudantes deveriam realizar a atividade 2, intitulada “Radiação eletromagnética da luz síncrotron”, composta por quatro questões. No entanto, optamos por não analisar essa atividade, considerando que poderia ser mais adequada para estudantes do Ensino Médio, não no grupo da disciplina de didática.

Posteriormente, os estudantes fizeram a leitura de um texto fictício, criado pelo pesquisador, sobre a reforma de uma igreja histórica em Igarassu-PE. A atividade propunha que os estudantes escolhessem uma linha de luz e técnicas experimentais do acelerador Sirius para estudar cerâmicas encontradas na igreja. Visando aprofundar o conhecimento sobre o Sirius e a luz síncrotron. As respostas dos estudantes estão disponíveis no Quadro 85.

Quadro 85 – Atividade 5 (Linhas e Estações Experimentais).

Respostas dos Estudantes na Atividade 5	
Est.6	<i>“Eu utilizaria da Peneira, sua principal técnica é a difração de raios X em Policristais, pois a maioria das estruturas cerâmicas pode ser pensada como sendo composta de íons eletricamente carregados em vez de átomos e as estruturas cristalinas cerâmicas também podem, uma vez que os planos são compostos por ânions maiores”.</i>
Est. 7	<i>“Utilizaria a linha de luz Carnaúba, para investigar bens de valor cultural”.</i>
Est. 8	<i>“Alinha de luz de Carnaúba, pois permite a valorização e investigação diante de elementos culturais junto como também técnicas utilizadas e integridade estrutural da matéria histórica analisada”.</i>
Est. 9	<i>“Ema. Técnicas de espectroscopia de absorção de raios X, difração de raio X e espalhamento de raios X”.</i>
Est. 10	<i>“Espalhamento de Raio X com resolução de energia (espalhamento inelástico de raios X).</i>
Est. 11	<i>“Imagem por difração coerente, parece adequado para estudar as deformações dos traços dos materiais”.</i>
Est. 12	<i>“A linha Carnaúba, porque estuda minuciosamente os elementos. É possível realizar vários tipos de análises de materiais. Algumas das áreas beneficiadas são Artes e Arqueologia, que é justamente o que foi proposto”</i>
Est. 15	<i>“Seria a Carnaúba porque é uma linha com possível utilização nano, através da varredura 2D e 3D com contraste por absorção, refração, difração e emissão de raio X”</i>
Est. 16	<i>“A linha Carnaúba seria a mais adequada, utilizando a técnica XANES para observar a oxidação do material. Em seguida, uma pictografia por imageamento 3D seria importante para ajudar a preservar o aspecto daquele material e disponibilizá-lo para estudos de outros (as) pesquisadores (as) e estudantes”</i>
Est. 19	<i>“Carnaúba, utilizando para descobrir os materiais que foram usados na fabricação das peças e comparar com os atuais”</i>
Est. 20	<i>“Cateretê, imagem por raio X de difração, pois analisam matéria biológica e matéria condensada”</i>
Est. 22	Não respondida pelo estudante!
Est. 24	<i>“Carnaúba – experimentos em XRD e XAS a pressões e temperaturas extremas”</i>
Est. 25	<i>“Para estudar as cerâmicas decorativas antigas da igreja matriz de São Cosme e Damião, escolheria a linha de luz de microscopia de raios x, como técnicas como XRF, XAS, XRD e tomografia de raios X para análise detalhada da composição e estrutura das peças”.</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

A análise das respostas dos estudantes revela uma compreensão diversificada e, em grande parte, apropriada das escolhas de linhas de luz e técnicas experimentais do acelerador Sirius para estudar as cerâmicas da igreja histórica em Igarassu-PE. O *Est.6*, por exemplo, optou, pela linha de luz Peneira, utilizando a técnica de difração de raios X em policristais, uma escolha fundamentada para analisar a estrutura cerâmica, alinhando-se com as práticas comuns de caracterização de materiais cristalinos. Os *Est.7* e *Est.8* escolheram a linha de luz Carnaúba, destacando a valorização e investigação de elementos culturais e a análise da integridade estrutural, demonstrando uma compreensão do potencial dessa linha para estudos específicos. Essa escolha é consistente com a proposta da atividade.

O *Est.9* propôs a utilização da linha Ema e mencionou diversas técnicas como espectroscopia de absorção de raios X, difração de raios X e espalhamento de raios X, indicando uma compreensão abrangente das capacidades do acelerador Sirius para fornecer informações complementares sobre as cerâmicas. A escolha do *Est.10* pela técnica de espalhamento de raios X com resolução de energia, especificando o espalhamento inelástico, demonstra uma compreensão detalhada da análise desejada. O *Est.11* optou por imagem por difração coerente para estudar deformações nos traços dos materiais, indicando uma abordagem específica e detalhada.

Os *Est.12, 15* e *16*, escolheram a linha Carnaúba e destacaram técnicas específicas, como XANES, pictografia por imageamento 3D e observação da oxidação do material, o que é consistente com a proposta da atividade, enfatizando a possibilidade de análises minuciosas, revelando uma compreensão mais profunda das possibilidades oferecidas pelo Sirius. Já o *Est.19*, escolheu Carnaúba para descobrir os materiais usados na fabricação das peças e compará-los com os atuais, alinhando-se ao objetivo da atividade.

O *Est.20* optou pela linha Cateretê, mencionando imagem por raios X de difração, especialmente para análises de matéria biológica e condensada, o que pode ser apropriado dependendo da composição das cerâmicas. A ausência de resposta do *Est. 22* representa uma lacuna na participação, sugerindo uma oportunidade perdida para enriquecer a diversidade de abordagens e a resposta do *Est. 24*, que propôs experimentos em XRD e XAS a pressões e temperaturas extremas, não condiz com a situação proposta na pesquisa, uma vez que o texto não menciona condições extremas. Isso indica uma interpretação equivocada ou uma resposta não alinhada com o contexto apresentado.

A resposta do *Est.25*, que propôs o uso da linha de microscopia de raios X e citou várias técnicas como XRF, XAS, XRD e tomografia de raios X, oferece uma abordagem abrangente e detalhada para uma análise mais aprofundada da composição e estrutura das peças.

As respostas indicam uma compreensão geral e diversificada das possíveis abordagens experimentais, destacando a riqueza de opções oferecidas pelo acelerador Sirius para investigar as cerâmicas em questão. A diversidade de abordagens reflete a amplitude de possibilidades proporcionadas pelo Sirius em pesquisa em ciência de materiais, arqueologia e áreas afins.

6.2.5 Resultados Referente a Avaliação Final da Intervenção

Após o desenvolvimento da intervenção didática, optamos por realizar uma avaliação intitulada “avaliação final”. O objetivo foi verificar a compreensão dos estudantes, avaliar se adquiriram conhecimentos e habilidades sobre a temática abordada e identificar possíveis indícios de Alfabetização Científica (AC). Para analisar o desenvolvimento da AC nos estudantes, consideramos os indicadores propostos por Sasseron (2008), que buscam que as ações dos indivíduos estejam fundamentadas na Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente de forma holística.

Os indicadores utilizados para analisar essa atividade com os estudantes referem-se à capacidade de Articular Ideias, Investigar, Argumentar, Ler em Ciências, Escrever em Ciências, Problematizar, Criar e Atuar (Pizarro; Lopes, 2015).

O Quadro 86 apresenta as questões utilizadas na avaliação, enquanto os Quadros 87 ao 96 abordam as respostas, a análise realizada e as conclusões obtidas para cada estudante.

Quadro 86 – Avaliação Final.

1.	Redija um texto explicando o que é um Acelerador de Partículas e como é gerada a Luz Síncrotron.
2.	Quais os benefícios que o Acelerador Sirius pode trazer para a população brasileira?

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Quadro 87 – Análise da resposta do estudante 7 com base na Alfabetização Científica.

Resposta do Estudante	Análise	Conclusão
<p>(Resposta da Pergunta 1):</p> <p><i>“Estrutura que permite acelerar partículas usando ímãs. Quando essas partículas são movidas dentro do acelerador, elas liberam a luz síncrotron, que é fonte de diversos estudos”.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - A descrição de uma “estrutura que permite acelerar partículas usando ímãs” demonstra compreensão de como os aceleradores de partículas funcionam; - A menção ao uso de ímãs na aceleração de partículas reflete conhecimento sobre os princípios de campos magnéticos na física de partículas; - A referência à “luz síncrotron” indica conhecimento sobre a radiação eletromagnética gerada por partículas aceleradas em um síncrotron, que é importante para diversos estudos científicos, incluindo análises de materiais; - O reconhecimento de que a luz síncrotron é uma “fonte de diversos estudos” sugere familiaridade com a aplicação prática de aceleradores de partículas na pesquisa científica. 	<p>O texto demonstra compreensão de conceitos e processos relacionados a aceleradores de partículas, campos magnéticos e suas aplicações em pesquisa científica, o que é indicativo de alfabetização científica.</p>
<p>(Resposta da Pergunta 2):</p> <p><i>“Ao estudar a luz síncrotron, podemos analisar a estrutura molecular e atômica dos materiais com um foco muito mais aprofundado que qualquer outra máquina possibilitaria fazer, trazendo benefícios a vários campos de estudo”.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - A menção à “luz síncrotron”, assim como na primeira questão, indica conhecimento sobre essa forma de radiação eletromagnética gerada no Sirius, que é usada para análise de materiais em pesquisas científicas; - A compreensão de que a luz síncrotron é usada para “analisar a estrutura molecular e atômica dos materiais” demonstra conhecimento da aplicação da luz síncrotron em estudos de materiais; - A menção aos “benefícios a vários campos de estudo” reflete a compreensão de que a luz síncrotron tem amplas aplicações em diversas áreas da pesquisa científica 	<p>Julgamos que os argumentos apresentados pelo estudante 7 são satisfatórios. Ele explica claramente a função da luz síncrotron e destaca sua importância na análise da estrutura molecular e atômica dos materiais, bem como seus benefícios para vários campos de estudo. No entanto, o texto poderia ser aprimorado com uma explicação mais detalhada sobre como exatamente a luz síncrotron é utilizada para alcançar essas análises e seus impactos específicos em diferentes áreas da pesquisa científica.</p>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Em resumo, o estudante 7 demonstra sinais de Alfabetização científica, articulando ideias sobre aceleradores de partículas e luz síncrotron. Ele investiga ao destacar o estudo da luz síncrotron para análise molecular e argumenta sobre os benefícios dessa análise, usando terminologia científica. Entretanto, a resposta poderia ser aprimorada ao explorar desafios, conectar benefícios específicos do acelerador Sirius para o Brasil e considerar mais explicitamente os aspectos sociais e ambientais associados ao tema.

Quadro 88 – Análise da resposta do estudante 9 com base na Alfabetização Científica.

Resposta do Estudante	Análise	Conclusão
<p>(Resposta da Pergunta 1):</p> <p><i>“São máquinas capazes de aumentar a velocidade de uma partícula (átomos, prótons ou elétrons) por meio da aplicação de campos elétricos e magnéticos. Com isso, a luz síncrotron é gerada por meio de um dispositivo chamado acelerador síncrotron”.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - O reconhecimento de que aceleradores de partículas “são máquinas capazes de aumentar a velocidade de uma partícula” demonstra conhecimento dos princípios fundamentais de aceleração de partículas; - A identificação das diferentes partículas que poder ser aceleradas (átomos, prótons ou elétrons) indica um entendimento da diversidade de partículas usadas em experimentos com aceleradores; - A menção á aplicação de campos elétricos e magnéticos na aceleração de partículas reflete conhecimento dos princípios físicos envolvidos nesse processo; - A referência à “luz síncrotron” indica conhecimento sobre a radiação eletromagnética gerada por partículas aceleradas em um síncrotron, que é importante em diversas áreas da pesquisa científica; - O reconhecimento de que a luz síncrotron é gerada por meio de um “dispositivo chamado acelerador síncrotron” demonstra familiaridade com os tipos específicos de aceleradores utilizados na pesquisa. 	<p>No geral, o texto demonstra um entendimento sólido dos conceitos e processos relacionados a aceleradores de partículas, campos elétricos e magnéticos, e sua importância na geração de luz síncrotron para a pesquisa científica, indicando que o texto contribui para o processo de alfabetização científica.</p>
<p>(Resposta da Pergunta 2):</p> <p><i>“Podem trazer benefícios como pesquisas acadêmicas relacionadas à energia, ao meio ambiente, à defesa, às indústrias, à saúde, etc”.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Menção de que o Sirius pode trazer os benefícios nas áreas citadas pelo estudante demonstra uma compreensão sobre a função desse acelerador e sua importância como ferramenta na pesquisa científica; 	<p>Acreditamos que esse texto é bastante conciso e não fornece detalhes específicos sobre como o acelerador de partículas Sirius contribui para cada uma dessas áreas. Os argumentos são gerais e não oferecem exemplos ou explicações detalhadas sobre os benefícios específicos que o Sirius proporciona.</p>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

No geral, apesar do texto do estudante 9 não trazer detalhes específicos sobre o Sirius, apresenta sinais positivos de AC, demonstrando clareza ao articular ideias sobre aceleradores de partículas e luz síncrotron. Ele investiga ao fornecer informações sobre o funcionamento desses dispositivos e argumenta sobre os benefícios potenciais do acelerador Sirius, abordando diversas áreas como energia, meio ambiente, defesa, indústria e saúde. A resposta reflete uma compreensão adequada dos conceitos científicos e uma visão holística ao considerar os impactos nas esferas social, ambiental e tecnológica.

Quadro 89 – Análise da reposta do estudante 10 com base na Alfabetização Científica.

Resposta do Estudante	Análise	Conclusão
<p>(Resposta da Pergunta 1):</p> <p><i>“O acelerador de partícula é responsável pela aceleração de prótons, elétrons e átomos carregados, assim que os elétrons são desviados, sempre sofrem uma aceleração centrípeta, eles emitem radiação eletromagnética”.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - A compreensão do termo “acelerador de partículas” demonstra conhecimento de dispositivos usando na física de partículas; - A identificação dos tipos de partículas aceleradas (prótons, elétrons e átomos) e o entendimento do processo de aceleração são aspectos importantes da alfabetização científica; - O reconhecimento dos campos magnéticos como parte do processo é um conceito científico relevante; - A compreensão do termo “aceleração centrípeta” indica conhecimento sobre princípios de física, especificamente em relação ao movimento das partículas aceleradas; - A descrição da emissão de radiação eletromagnética está relacionada à física de partículas, demonstrando um entendimento dos fenômenos envolvidos. 	<p>Esses elementos destacam a alfabetização científica ao demonstrar a compreensão de conceitos científicos e a capacidade de interpretar informações relacionadas à física de partículas.</p>
<p>(Resposta da Pergunta 2):</p> <p><i>“Auxílio em parte de várias áreas, como por exemplo a saúde”</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - A menção de que o acelerador de partículas Sirius “auxilia em parte de várias áreas, como por exemplo a saúde” indica conhecimento das diferentes áreas de pesquisa e aplicação sobre o acelerador. 	<p>O texto é bastante genérico e não fornece detalhes específicos sobre como o acelerador de partículas Sirius contribui para a área da saúde ou outras áreas mencionadas. Os argumentos são gerais e não fornecem exemplos específicos que o Sirius proporciona. Portanto, os argumentos são limitados e poderiam ser aprimorados com informações mais detalhadas e exemplos específicos para ilustrar como o acelerador de partículas é utilizado na área mencionada, no caso a saúde.</p>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Em resumo, o estudante 10 demonstra alguns indícios de AC ao explicar o funcionamento do acelerador de partículas e mencionar a emissão de radiação eletromagnética. No entanto, a resposta carece de uma argumentação mais profunda, especialmente ao abordar os benefícios para a população brasileira. Embora haja uma consciência geral dos benefícios na área da saúde, a resposta poderia ser mais elaborada, considerando aspectos sociais e ambientais, e explorando possíveis desafios associados ao uso do acelerador Sirius.

Quadro 90 – Análise da reposta do estudante 12 com base na Alfabetização Científica.

Resposta do Estudante	Análise	Conclusão
<p>(Resposta da Pergunta 1):</p> <p><i>“É uma máquina que aumenta a velocidade de partículas e serve para fazer estudos e pesquisas. Quando os elétrons aumentam sua velocidade, ou seja, sofrem uma aceleração, eles emitem uma radiação eletromagnética chamada de luz síncrotron”.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - O reconhecimento de que um acelerador de partículas é uma “máquina que aumenta a velocidade de partículas” indica conhecimento dos princípios básicos desse tipo de dispositivo; - A menção de que os aceleradores de partículas são usados para “fazer estudos e pesquisas” demonstra compreensão da aplicação prática dessas máquinas em investigações científicas; - A explicação de que quando os elétrons aumentam sua velocidade (sofrem aceleração), eles emitem uma radiação eletromagnética chamada “luz síncrotron” reflete conhecimento dos princípios físicos envolvidos em aceleradores de partículas. 	<p>O texto demonstra uma compreensão básica de conceitos físicos relacionados aos aceleradores de partículas e à geração de luz síncrotron com vários elementos que indica a alfabetização científica.</p>
<p>(Resposta da Pergunta 2):</p> <p><i>“vários avanços em diversas áreas do conhecimento, como por exemplo, descobrir a reprodução de um vírus e ajudar na produção de vacinas”</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - A informação de que o acelerador de partículas Sirius “promove vários avanços em diversas áreas do conhecimento” reflete conhecimento das diferentes áreas de pesquisa onde o acelerador pode ser aplicado; - A menção de que o Sirius ajuda a “descobrir a reprodução de um vírus e ajudar na produção de vacinas” fornece exemplos específicos das contribuições desse acelerador em pesquisa médica”. 	<p>No geral, o texto demonstra uma compreensão sólida dos conceitos e aplicações do acelerador de partículas Sirius em diversas áreas do conhecimento. Os argumentos são pertinentes, pois fornecem exemplos específicos que ilustram como o Sirius contribui para avanços científicos, particularmente na área de pesquisa de vírus e vacinas. É possível observar nesse texto indícios de alfabetização científica.</p>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Em geral, o estudante 12 apresenta uma boa demonstração de AC ao explicar claramente o funcionamento do acelerador de partículas e a geração de luz síncrotron. Além disso, destaca benefícios específicos para a população brasileira, como contribuições para descobertas em várias áreas do conhecimento, incluindo a reprodução de vírus e a produção de vacinas. A resposta revela uma compreensão sólida dos conceitos científicos e uma conexão clara entre ciência e sociedade.

Quadro 91 – Análise da reposta do estudante 15 com base na Alfabetização Científica.

Resposta do Estudante	Análise	Conclusão
<p>(Resposta da Pergunta 1):</p> <p><i>“O acelerador de partícula é uma máquina desenvolvida para acelerar os elétrons e gerar a luz síncrotron, essa que é um raio de luz capaz de penetrar as partículas de células e entender a sua estruturação”.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - A identificação do “acelerador de partículas” como uma máquina desenvolvida para acelerar elétrons demonstra conhecimento sobre dispositivos usados na física de partículas; - A menção à geração de “luz síncrotron” indica compreensão dos princípios de produção de radiação eletromagnética em aceleradores de partículas, que é essencial em pesquisas científicas; - A compreensão de que a “luz síncrotron” é capaz de penetrar as partículas de células demonstra conhecimento de aplicação da luz síncrotron em estudos de estruturas biológicas; - A referência à capacidade de “entender a estruturação das partículas de células” mostra a familiaridade com a aplicação da luz síncrotron em pesquisas em biologia e ciências da saúde. 	<p>O texto demonstra uma compreensão sólida dos conceitos relacionados a aceleradores de partículas e à aplicação da luz síncrotron em pesquisas científicas indicando alfabetização científica.</p>
<p>(Resposta da Pergunta 2):</p> <p><i>“O acelerador de partículas Sirius, além de aumentar a autoestima nacional, colocando o Brasil na ponta desse pensar tecnológico de quarta geração, permite grandes pesquisas em torno da estruturação das células e, com isso, grandes pesquisas em diferentes áreas.”</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - O texto faz menção a “tecnológico de quarta geração” indica conhecimento sobre avanços tecnológicos em aceleradores de partículas e sua relevância; - A afirmação de que o Sirius permite “grandes pesquisas em torno da estruturação das células e em diferentes áreas” reflete conhecimento das várias aplicações do acelerador em pesquisas científicas. 	<p>O texto apresenta um argumento subjetivo sobre o aumento da “autoestima nacional” e a posição do Brasil no pensamento tecnológico de quarta geração, o que pode ser considerado menos objetivo e mais opinativo. Os argumentos são razoáveis em termos de demonstrar a compreensão dos benefícios do acelerador de partículas Sirius, mas a inclusão de argumentos subjetivos poderia ser aprimorada com exemplos mais concretos de pesquisas e descobertas científicas facilitadas por esse acelerador.</p>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Em resumo, o estudante 15 apresenta uma resposta robusta, evidenciando AC. O texto é claro ao explicar o acelerador de partículas e a luz síncrotron, destacando sua capacidade de penetrar células. A argumentação enfatiza os benefícios do acelerador Sirius, relacionando-os ao prestígio nacional, avanço tecnológico e amplas pesquisas em diversas áreas. A resposta reflete uma compreensão sólida dos conceitos científicos e uma abordagem holística ao considerar os impactos sociais e tecnológicos.

Quadro 92 – Análise da reposta do estudante 16 com base na Alfabetização Científica.

Resposta do Estudante	Análise	Conclusão
<p>(Resposta da Pergunta 1):</p> <p><i>“Aceleradores de partículas são estruturas que podem acelerar partículas por meio do eletromagnetismo. Um feixe de elétrons é liberado no acelerador linear e quando alcançam quase a velocidade da luz são lançadas num anel interno que prossegue com a aceleração dos elétrons. Por fim, o elétron é mantido no anel de armazenamento, onde a mudança de trajetória resultante da rede magnética emite a luz síncrotron, tangencialmente, para as estações experimentais”.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - A identificação e explicação de que os aceleradores de partículas são “estruturas que podem acelerar partículas por meio do eletromagnetismo” demonstram conhecimento dos princípios de funcionamento desses dispositivos; - A descrição do processm em que um feixe de elétrons é liberado em um acelerador linear e, em seguida, lançado em um anel interno para continuar e aceleração, reflete familiaridade com o funcionamento sequencial dessas partes de um acelerador de partículas; - A explicação de que a mudança de trajetória resultante da rede magnética emite a “luz síncrotron” para as estações experimentais indica compreensão dos processos que levam à geração dessa radiação eletromagnética e sua aplicação em experimentos. 	<p>O texto demonstra uma compreensão sólida dos conceitos e processos relacionados a aceleradores de partículas, campos magnéticos e a geração de luz síncrotron para pesquisas científica, o que contribui para o processo de alfabetização científica.</p>
<p>(Resposta da Pergunta 2):</p> <p><i>“Através do acelerador, pesquisas bastante avançadas de vários campos da ciência podem ser desenvolvidas. Com as tecnologias e descobertas desenvolvidas no Sirius, podem ser aplicadas políticas públicas para melhorar as condições de vida da população e seu conhecimento sobre diversas áreas”.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - A afirmação de que o acelerador permite “pesquisas bastante avançadas de vários campos da ciência” reflete a compreensão da ampla aplicação dessas máquinas em várias disciplinas científicas; - A menção de que as tecnologias e descobertas do Sirius podem ser aplicadas em “políticas públicas para melhorar as condições de vida da população” destaca a importância da pesquisa científica em contribuir para o bem-estar da sociedade. 	<p>O texto demonstra uma compreensão sólida dos conceitos e aplicações do acelerador de partículas Sirius em pesquisa científica e suas possíveis implicações na melhoria das condições de vida da população. Os argumentos são pertinentes, pois enfatizam a relevância da pesquisa científica e das descobertas tecnológicas em benefício da sociedade.</p>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

No geral, o estudante 16 demonstra uma sólida AC ao explicar claramente o funcionamento do acelerador de partículas, desde o acelerador linear até a emissão da luz síncrotron. A resposta é detalhada, indicando compreensão aprofundada. Além disso, destaca benefícios, argumentando sobre pesquisas avançadas e a aplicação das tecnologias do Sirius em políticas públicas para melhorar as condições de vida e conhecimento da população. A resposta reflete uma integração eficaz de Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente, mostrando uma visão holística dos impactos do acelerador na sociedade brasileira.

Quadro 93 – Análise da resposta do estudante 19 com base na Alfabetização Científica.

Resposta do Estudante	Análise	Conclusão
<p>(Resposta da Pergunta 1):</p> <p><i>“É um acelerador de partículas que aumenta sua velocidade através do campo magnético que, aumentando a velocidade, gera frequências de luz eletromagnéticas utilizadas em experimentos”.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - A indentificação do objeto como um “acelerador de partículas” indica conhecimento sobre dispositivos usados na física de partículas; - A compreensão de que o acelerador aumenta a velocidade das partículas através do “campo magnético” demonstra conhecimento dos princípios de aceleração de partículas por campos magnéticos; - A explicação de que o aumento da velocidade gera “frequências de luz eletromagnéticas” indica compreensão da relação entre a aceleração de partículas e a produção de radiação eletromagnética, que é importante para experimentos científicos; - A menção de que essa luz eletromagnética é “utilizada em experimentos” demonstra conhecimento da aplicação prática da radiação gerada em pesquisas científicas. 	<p>O texto demonstra uma compreensão sólida dos conceitos e processos relacionados a aceleradores de partículas e à geração de radiação eletromagnética para pesquisa científica, indicando alfabetização científica.</p>
<p>(Resposta da Pergunta 2):</p> <p><i>“Avanço em pesquisas em diversas áreas, como por exemplo, na saúde para criação de medicamentos”.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - A afirmação de que o Sirius “promove avanço em pesquisas em diversas áreas” reflete conhecimento das diversas disciplinas científicas onde o acelerador pode ser aplicado. 	<p>O texto tem uma estrutura de frase que dificulta a compreensão. Além disso, os argumentos são limitados e não oferecem detalhes específicos sobre como o Sirius contribui para as pesquisas em saúde ou quais avanços específicos foram alcançados. O texto poderia ser melhorado com uma redação mais clara e com exemplos específicos das contribuições do Sirius para a pesquisa em saúde.</p>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Em resumo, o estudante 19 apresenta sinais de AC ao descrever de forma básica o acelerador de partículas e sua relação com a geração de luz eletromagnética. A resposta inclui uma argumentação sobre os benefícios do acelerador Sirius, especificamente em avanços na pesquisa, especialmente na criação de medicamentos na área da saúde. Embora demonstre uma compreensão fundamental, a resposta poderia ser aprimorada ao explorar mais detalhes sobre benefícios em diversas áreas, e ao considerar de maneira mais explícita os impactos sociais e ambientais.

Quadro 94 – Análise da reposta do estudante 20 com base na Alfabetização Científica.

Resposta do Estudante	Análise	Conclusão
<p>(Resposta da Pergunta 1):</p> <p><i>“Um acelerador de partículas é um objeto circular que se utiliza da atração magnética para aumentar a velocidade do elétron e com isso aumentarr sua energia”.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - O reconhecimento do termo “acelerador de partículas” demonstra conhecimento sobre dispositivos usados em física de partículas para aumentar a energia das partículas subatômicas; - A descrição de que o acelerador é um “objeto circular” indica um entendimento básico de geometria do dispositivo; - A menção à “atração magnética” como o método para aumentar a velocidade do elétron indica conhecimento dos princípios físicos envolvidos na aceleração de partículas; - A referência à velocidade do elétron é um conceito científico relacionado ao funcionamento dos aceleradores de partículas; - A compreensão de que o aumento de velocidade resulta no aumento da energia da partícula demonstra conhecimento dos princípios de conservação de energia e física de partículas. 	<p>No geral, o texto mostra uma compreensão básica de conceitos científicos relacionados aos aceleradores de partículas e à física de partículas. Também foi observados elementos que indicam o processo de alfabetização científica.</p>
<p>(Resposta da Pergunta 2):</p> <p><i>“Através dessa tecnologia, o estudo das doenças ainda sem cura podem ser aprimorados e assim, a produção de medicamentos podem ser mais específicas”.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - A menção de que o Sirius pode contribuir para o “estudo das doenças ainda sem cura” reflete a compreensão de que essa tecnologia é usada em pesquisas biomédicas; - O texto destaca que o Sirius pode contribuir para aprimorar o estudo de doenças e tornar a produção de medicamentos masi específica, indicando conhecimento das aplicações da tecnologia em pesquisa médica. 	<p>O texto tem uma estrutura de frase que torna a comunicação um pouco confusa. Os argumentos são pertinentes na medida em que destacam a importância do Sirius na pesquisa médica.</p>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

No geral, o estudante 20 apresenta sinais de AC ao explicar de forma básica o acelerador de partículas, destacando seu uso da atração magnética para aumentar a velocidade do elétron. A resposta inclui uma argumentação sobre os benefícios do acelerador Sirius, especialmente no aprimoramento do estudo de doenças sem cura e na produção mais específica de medicamentos. Embora demonstre compreensão inicial, a resposta poderia ser aprimorada ao explorar mais detalhes sobre os benefícios em diversas áreas e ao considerar de maneira mais explícita os impactos sociais e ambientais.

Quadro 95 – Análise da resposta do estudante 22 com base na Alfabetização Científica.

Resposta do Estudante	Análise	Conclusão
<p>(Resposta da Pergunta 1):</p> <p><i>“O acelerador de partículas é um dispositivo que fornece energia as partículas eletricamente carregadas, onde essas partículas, originadas no anel tangencial, forma a luz síncrotron”.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - A identificação do “acelerador de partículas” como um dispositivo que fornece energia a partículas eletricamente carregadas demonstra conhecimento dos princípios de aceleração de partículas; - A compreensão de que o acelerador fornece energia a partículas eletricamente carregadas reflete conhecimento dos processos de aceleração de partículas utilizando campos elétricos e magnéticos; - A explicação de que as partículas são originadas no “anel tangencial” e formam a “luz síncrotron” demonstra familiaridade com a operação de aceleradores de partículas e a geração de radiação eletromagnética (luz síncrotron) para fins de pesquisa científica. 	<p>O texto mostra uma compreensão sólida dos conceitos e processos relacionados a aceleradores de partículas, campos elétricos e magnéticos, e a geração de luz síncrotron, indicando alfabetização científica.</p>
<p>(Resposta da Pergunta 2):</p> <p><i>“O Sirius atende á diversos propósitos, como pesquisas acadêmicas relacionadas à energia, ao meio ambiente, à defesa, às indústrias, à saúde, etc”.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - A afirmação de que o Sirius “atende a diversos propósitos, como pesquisas acadêmicas relacionadas à energia, ao meio ambiente, à defesa, às indústrias, à saúde, etc” reflete conhecimento das diferentes áreas de pesquisa que podem se beneficiar da aplicação do Sirius 	<p>O teste é bastante conciso e não fornece detalhes específicos sobre como o Sirius atende a esses propósitos ou exemplos específicos de pesquisas ou avanços científicos alcançados com ajuda do Sirius. Os argumentos são gerais e não oferecem explicações detalhadas sobre os benefícios específicos que o Sirius proporciona em casa área mencionada. Portanto, os argumentos são relevantes na medida em que destacam a amplitude aprimorados com informações mais detalhadas exemplos específicos.</p>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Em resumo, o estudante 22 apresenta uma resposta que revela forte AC. Ele articula claramente as ideias ao explicar o acelerador de partículas e a formação da luz síncrotron. Além disso, argumenta sobre os benefícios do acelerador Sirius, destacando, de forma geral, sua aplicação em diversas áreas, como energia, meio ambiente, defesa, indústrias e saúde. A resposta reflete uma compreensão sólida dos conceitos científicos, abordando de forma eficaz a interseção entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente.

Quadro 96 – Análise da resposta do estudante 24 com base na Alfabetização Científica.

Resposta do Estudante	Análise	Conclusão
<p>(Resposta da Pergunta 1):</p> <p><i>“É um acelerador de elétrons que utiliza um campo magnetizado por ímãs para acelerar uma partícula até a velocidade da luz, fazendo com que seu excesso (luz síncrotron) seja retirado pela tangente”.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - A identificação do dispositivo como um “acelerador de elétrons” demonstra conhecimento sobre o tipo de partículas aceleradas em aceleradores de partículas; - A menção de que o acelerador utiliza um “campo magnetizado por ímãs” indica compreensão dos princípios de campos magnéticos no processo de aceleração de partículas; - A explicação de que o acelerador aumenta a velocidade da partícula até atingir a velocidade da luz reflete conhecimento dos princípios fundamentais da física de partículas; - A menção de que o “excesso” de energia da partícula (luz síncrotron) é retirado pela tangente indica familiaridade com a operação de aceleradores de partículas e a geração da luz síncrotron para fins de pesquisa científica. 	<p>O texto demonstra uma compreensão sólida dos conceitos e processos relacionados a aceleradores de partículas, campos magnéticos e a geração de luz síncrotron, indicando alfabetização científica.</p>
<p>(Resposta da Pergunta 2):</p> <p><i>“Vejo benefícios do acelerador Sirius nas áreas da saúde, construção, agro, entre outros. No desenvolvimento de técnicas, instrumentos e abordagens nas áreas acima citadas”.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - A menção às áreas da saúde, construção e agricultura (agro) indica conhecimento das diferentes áreas onde o Sirius pode ser aplicado; - A afirmação de que o Sirius contribui para o desenvolvimento de técnicas, instrumentos e abordagens nas áreas citadas reflete compreensão das implicações tecnológicas e científicas desse acelerador. 	<p>O texto é sucinto e não fornece detalhes específicos sobre o Sirius contribuiu para cada uma das áreas mencionadas. Os argumentos são gerais e não oferecem exemplos ou explicações detalhadas sobre os benefícios específicos que o Sirius proporciona em cada área. Portanto, os argumentos são razoáveis na medida em que destacam a variedade de aplicações possíveis, mas seriam aprimorados como informações mais detalhadas e exemplos específicos para ilustrar como o Sirius contribui para o desenvolvimento nas áreas citadas.</p>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

No geral, o estudante 24 apresenta uma resposta que revela AC. Ele articula de forma clara o funcionamento do acelerador de partículas e a geração da luz síncrotron, utilizando terminologia científica adequada. Além disso, argumenta sobre os benefícios do acelerador Sirius, destacando diversas áreas como saúde, construção, agro, e ressaltando o desenvolvimento de técnicas, instrumentos e abordagens nessas áreas. A resposta reflete uma compreensão sólida dos conceitos científicos, abordando eficazmente a interseção entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente.

Na análise das respostas dos estudantes sobre aceleradores de partículas e o acelerador Sirius, observou-se uma compreensão básica generalizada dos conceitos científicos. A maioria dos estudantes conseguiu articular ideias e argumentar sobre os benefícios do acelerador Sirius, destacando sua aplicação em diversas áreas e indícios de alfabetização científica.

A capacidade de articular ideias de forma clara e compreensível sobre o funcionamento do acelerador de partículas evidencia uma compreensão dos conceitos científicos. A habilidade de argumentar sobre os benefícios do acelerador Sirius, incluindo seu impacto em diferentes setores, revela uma compreensão aplicada dos conceitos científicos. Na explicação de alguns estudantes sobre as conexões entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente, demonstra uma visão holística dos impactos do acelerador Sirius; e o destaque em benefícios em várias áreas, como saúde, meio ambiente e indústria, sugere uma compreensão da amplitude de aplicações do acelerador.

Embora as respostas revelem indícios positivos de AC, oportunidades para aprimoramento incluem maior detalhamento do funcionamento específico do acelerador de partículas e uma exploração mais profunda dos benefícios em cada área mencionada.

6.2.6 Reflexões sobre a Intervenção Didática com os estudantes do Ensino Superior

Após a análise dos dados provenientes do teste piloto com alunos do Ensino Superior, identificamos a necessidade de realizar diversos ajustes na estrutura inicial da Sequência Didática (SD) proposta. Assim como mencionado na avaliação pelos professores da ESPEM, percebemos a necessidade de explorar mais a maquete durante o desenvolvimento das etapas da SEI. Como destacada por uma estudante durante a intervenção didática: "Grande parte das atividades propostas consegui responder devido à observação, explicação e discussão que tivemos em torno da Maquete".

Além disso, a análise da avaliação final, utilizando o Padrão de Argumentos de Toulmin (TAP), revelou um avanço significativo no conhecimento do Acelerador de Partículas Sirius e da Luz Síncrotron em comparação ao Teste Diagnóstico. No entanto, os estudantes ainda apresentaram conhecimentos científicos mínimos sobre o assunto.

A análise ao final da intervenção do segundo, utilizando os indicadores de Alfabetização Científica, demonstrou um padrão de compreensão básico dos conceitos científicos envolvidos na geração da luz síncrotron. A maioria dos estudantes conseguiu explicar o funcionamento do acelerador de partículas, destacando elementos como aceleração, campos magnéticos e a geração de luz síncrotron. Também houve um reconhecimento generalizado dos benefícios potenciais do acelerador Sirius em diversas áreas, como saúde, meio ambiente, indústria e pesquisa acadêmica.

No geral, as análises da intervenção didática com os estudantes do Ensino Superior sugerem um ponto de partida promissor para o desenvolvimento da sequência didática com o público escolar, com uma base sólida para futuras explorações e aprimoramentos na compreensão dos estudantes sobre aceleradores de partículas, o Sirius e a geração da luz síncrotron, bem como suas implicações nas diversas esferas da sociedade.

Após a intervenção didática, solicitamos aos estudantes que elaborassem um resumo expressando seus pontos de vista sobre a sequência didática, apontando pontos positivos, negativos e sugerindo possíveis melhorias. Os comentários estão detalhados no Quadro 97.

Quadro 97 – Comentários dos estudantes do Ensino Superior sobre a sequência didática.

Respostas dos Estudantes na Atividade 5	
Est. 7	<i>“Não sabia do nano aceleradores e de como ele foi uma grande conquista para a ciência no Brasil. Aprendi sobre a luz síncrotron e sobre os campos de estudo e o benefício do estudo dessa luz”</i>

Est. 9	<i>“Gostei muito da didática, principalmente a maquete, ela é muito intuitiva e dinâmica. Porém, existem muitas repetições e as vezes deixam cansativas, mas em geral foi muito bom”</i>
Est. 10	<i>“A didática e o modo de ensino foi ótimo”</i>
Est. 12	<i>“Achei bastante interessante! Utiliza os conhecimentos prévios do aluno sobre o assunto abordado. Pontos negativos: perguntas repetitivas, textos longos e poderia colocar perguntas abertas e fechadas. Pontos positivos: apresenta um assunto relevante que o aluno provavelmente não sabia que existia, ou seja, o aluno adquirir novos conhecimentos”</i>
Est. 15	<i>“Positivo: é uma pesquisa bem plural e rica acerca de uma temática pouca abordada. Negativa: como sendo uma sequência pensando para o ensino médio é muito longa, com um grande número de perguntas longas. É importante escutar os estudantes, mais muito longa e cansativa para o ensino médio.</i>
Est. 16	<i>“Esta sequência didática me ajudou a conhecer um equipamento tão importante, útil para diversas áreas do saber e que, talvez, eu não procuraria conhecer de forma autônoma. Percebo que a sequência didática deve ser aplicada em um espaço curto de tempo, sob risco de conhecimento adquirido “esfriar” e demandar maior esforço do aluno para lembrar o que foi visto anteriormente”</i>
Est. 19	<i>“Traz um tema interessante, com boa dinâmica, o que agrega curiosidade por parte dos alunos. No quesito das atividades, acaba pela quantidade, gerando um cansaço nos estudantes, além de algumas serem repetitivas”</i>
Est. 20	<i>“A sequência teve como início uma maquete que foi muito importante para trabalhar o visual de como seria de fato o Sirius, as perguntas feitas foram muito importantes para fixar o que foi visto na maquete mas os textos foram um pouco extensos”</i>
Est. 22	<i>“Está muito bom, muito explicativo, até para quem não conhece o tema e o assunto”</i>
Est. 24	<i>“Achei muito rico, um aprendizado prático para levar para a vida toda. Os questionários são repetitivos (salvo a atividade 2, a sensação é um “copia e cola” das respostas). Lembrando um ensino estritamente tradicional. Os espaços para “definição” são pequenos. Na atividade 4, as primeiras questões não tem ligação com o artigo”</i>

Fonte: Autoria Própria, 2023.

A análise dos comentários dos estudantes em relação à sequência didática proporciona percepções ricas e valiosas sobre a eficácia da abordagem. Dentre os pontos positivos destacados, está o reconhecimento do aprendizado sobre os aceleradores, com ênfase na importância do Sirius para a ciência no Brasil. A introdução da luz síncrotron e a exploração de campos de estudo são ressaltadas como benefícios, indicando uma compreensão ampla da temática.

A maquete, apresentada como dinâmica e intuitiva, recebe elogios e é reconhecida por vários estudantes, evidenciando sua eficácia como ferramenta visual e pedagógica. Entretanto, observa-se a crítica em relação a repetições, que, em alguns casos, podem tornar a sequência cansativa. Ainda assim, há um consenso geral sobre a qualidade da didática e do modo de ensino.

Outro ponto positivo destacado é a vinculação da sequência ao conhecimento prévio do aluno, promovendo uma abordagem mais personalizada. Contudo, críticas em relação a perguntas longas e repetitivas são levantadas, sugerindo a necessidade de maior diversificação nas abordagens.

A consideração da sequência como uma pesquisa plural e rica em uma temática pouco abordada ressalta seu potencial educacional. No entanto, a percepção de que a sequência é longa para o ensino médio indica a importância de ajustes na extensão das atividades para otimizar o engajamento dos alunos.

A temporalidade da aplicação da sequência também é discutida, observando que a aplicação em um espaço curto de tempo é crucial para evitar que o conhecimento adquirido esfrie. Essa consideração destaca a importância da organização do tempo na estratégia didática.

A dinâmica da sequência é elogiada por despertar curiosidade e agregar valor ao aprendizado. No entanto, há críticas quanto à quantidade de atividades, que podem gerar cansaço nos estudantes e à repetitividade de algumas delas.

A análise dos questionários revela uma percepção de repetição em algumas atividades, lembrando um ensino tradicional. A limitação do espaço para definições é observada, sugerindo a necessidade de ajustes na estrutura para acomodar respostas mais elaboradas. Em uma atividade específica, a falta de ligação entre as primeiras questões e o artigo é apontada como uma área de melhoria.

Em resumo, a sequência didática é globalmente reconhecida como rica e informativa, mas os estudantes levantam aspectos específicos a serem refinados para otimizar o impacto pedagógico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para iniciar as considerações cabíveis a esta seção, retomamos o objetivo geral deste estudo, que consiste no planejamento de uma sequência didática para abordar a luz síncrotron e a divulgação do acelerador de partículas brasileiro, Sirius. Além disso, resgatamos os objetivos específicos delineados inicialmente.

No que diz respeito ao primeiro objetivo específico de **estruturar e desenvolver uma sequência de ensino sobre a radiação eletromagnética da luz síncrotron**, a proposta da sequência foi cuidadosamente construída, voltada para o público escolar, especificamente para estudantes do Ensino Médio. Buscamos validá-la em dois momentos: com os professores participantes da ESPEM e com estudantes do Ensino Superior. Os resultados mostram que, apesar da necessidade de alguns ajustes, a SD foi bem aceita. As análises refletiram uma sólida compreensão dos conceitos abordados, indicando o êxito da abordagem de ensino proposta.

A iniciativa de estruturar e desenvolver uma sequência de ensino sobre a radiação eletromagnética da luz síncrotron revelou-se interessante, recebendo elogios substanciais dos professores. Eles destacaram a dinâmica e relevância da proposta no contexto do ensino de Ciências da Natureza, reconhecendo seu potencial para proporcionar um processo de ensino e aprendizagem atraente.

As valiosas avaliações e percepções dos professores, especialmente em relação ao tempo de desenvolvimento da SD, ressaltam a importância de considerar a diversidade de alunos e adaptar o ensino de acordo com o contexto específico da turma. As considerações sobre a extensão do conteúdo também apontam para a necessidade de equilibrar a quantidade de informações apresentadas, garantindo uma abordagem eficaz no Ensino Médio.

Os comentários dos estudantes oferecem uma perspectiva enriquecedora, destacando a eficácia da SD em proporcionar aprendizado prático sobre o Sirius e a luz síncrotron. Embora reconheçam a riqueza informativa, os estudantes levantaram aspectos específicos a serem refinados, sugerindo oportunidades para otimizar o impacto pedagógico.

Em síntese, a proposta da SD recebeu uma validação abrangente. As sugestões dos professores e as percepções dos estudantes oferecem orientações valiosas para aprimorar ainda mais a abordagem, visando um impacto pedagógico no cenário educacional.

Quanto ao segundo objetivo específico de **verificar as possibilidades e limites do desenvolvimento de atividades de Divulgação Científica (DC) sobre o Sirius**, a análise dos resultados também confirma o sucesso da proposta da SD em relação a divulgação do acelerador de partículas Sirius. A inserção de vídeos e textos de divulgação científica, focando no Sirius,

desempenhou um papel crucial ao enriquecer a experiência educacional dos estudantes. Esses recursos proporcionaram uma imersão mais profunda nos conceitos complexos da luz síncrotron e do funcionamento do Sirius, contribuindo significativamente para a compreensão dos alunos.

Os vídeos, ao oferecerem uma representação visual dinâmica, complementaram a aprendizagem prática da maquete, proporcionando aos estudantes uma visão mais abrangente e detalhada do acelerador de partículas. Isso não apenas cativou a atenção dos alunos, mas também reforçou os conceitos, tornando o aprendizado mais tangível e memorável.

Os textos de divulgação científica desempenharam uma papel crucial ao contextualizar a relevância do Sirius para a ciência no Brasil. Ao explorar o estudo da proteína da Covid e outros campos de pesquisa, os alunos foram guiados a compreender a aplicação prática e os impactos significativos dessa tecnologia em diversas áreas do conhecimento. Isso não apenas despertou o interesse dos estudantes, mas também os motivou a explorar o tema de forma mais autônoma.

A abordagem estratégica de integrar vídeos e textos de divulgação científica não apenas validou, positivamente, a SD, mas também ressaltou a importância de utilizar diferentes meios para cativar e informar os alunos. Essa escolha consciente de materiais didáticos enriqueceu a experiência educacional, tornando-a mais envolvente e relevante.

Em suma, a utilização de vídeos e textos de divulgação científica na intervenção didática com o acelerador de partículas Sirius desempenhou um papel vital no sucesso da proposta. Esses recursos não apenas consolidaram os conceitos ensinados, mas também promoveram uma compreensão mais ampla e contextualizada.

No terceiro objetivo específico de **desenvolver materiais didáticos que apoiassem as explorações propostas**, os materiais, incluindo a maquete e as atividades, demonstraram fornecer suporte adequado. Os comentários dos professores participantes da ESPEM e as respostas dos estudantes indicam que esses materiais foram relevantes para o aprendizado.

A análise aprofundada dos dados reforça ainda mais que o material construído, enriquecido por atividades cuidadosamente planejadas, desempenhou um papel importante no êxito da intervenção didática. A diversidade dessas atividades, incluindo o texto de introdução sobre o Sirius e a luz síncrotron, o teste diagnóstico, o material sobre as questões problematizadoras, a atividade de sistematização, o material de contextualização com a Covid, o material de desafio verdadeiro ou falso, a atividade de sumário a exploração das linhas e técnicas experimentais, proporcionaram uma abordagem abrangente.

O material de divulgação se revelou uma ferramenta interessante para transmitir informações de forma acessível, contribuindo significativamente para a compreensão dos conceitos relacionados ao Sirius. O material da Covid, não apenas trouxe relevância imediata, mas também destacou a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos.

A atividade aprofundamento, ao propor um desafio verdadeiro ou falso, incentivou a reflexão crítica dos estudantes, promovendo uma compreensão mais profunda dos temas abordados. A atividade de sumário, por sua vez, consolidou os aprendizados de forma organizada, proporcionando uma visão geral coerente do conteúdo explorado.

As sugestões dos professores, como a proposta de questões informativas e interrogativas no material, adicionaram camadas de profundidade à abordagem pedagógica. Os comentários em relação a gestão do tempo de desenvolvimento das atividades nos materiais destacam a complexidade do desafio temporal. Também é importante considerar as sugestões dos alunos sobre possíveis ajustes para evitar repetições excessivas, otimizar o tempo e manter o dinamismo. Essas análises fornecem diretrizes preciosas para otimizar o material, tornando-o mais adaptável em ambientes educacionais.

A inclusão da maquete como parte integrante desse conjunto de materiais didáticos foi uma escolha estratégica, permitindo uma compreensão visual e tátil do Sirius, além de possibilitar que os estudantes visualizassem conceitos abstratos e microscópios como o movimento dos elétrons no tubo do acelerador de partículas, tornando o aprendizado acessível. Essa abordagem multimodal, atendeu às diferentes formas de aprendizagem dos estudantes.

Acreditamos que a incorporação de uma seção de passo a passo para a construção da maquete como material didático não apenas enriquece um dos produtos desta pesquisa, mas também promove a disseminação do conhecimento científico. Esta iniciativa, também proposta por alguns professores na validação, permite que outros professores tenham acesso, reproduzir e implementar em suas próprias aulas, contribuindo assim para a ampliação do entendimento sobre o Sirius e estimulando o interesse dos estudantes na área.

Os dados analisados refletem positivamente a contribuição significativa desses materiais para o sucesso da SD. Portanto, a construção cuidadosa desses materiais diversificados, desempenhou um papel fundamental no alcance dos objetivos e na validação positiva tanto por parte dos professores quanto dos estudantes.

Em relação ao quarto objetivo específico de **validar uma sequência didática com os professores da Escola Sirius para Professores do Ensino Médio (ESPEM)**, nos ofereceu diversas vantagens. Esses professores possuem experiência prática e conhecimento adicional

sobre o Sirius, o que permite ajustar a sequência de ensino de acordo com as necessidades reais da sala de aula. Além disso, essa validação promoveu uma abordagem mais alinhada às expectativas e desafios enfrentados por esses educadores, resultando em um material didático mais prático e adaptado ao contexto educacional.

Ter professores de diferentes áreas do conhecimento, como Física, Química e Biologia, envolvidos na validação da SD sobre o Sirius foi crucial. A interdisciplinaridade é uma característica fundamental no entendimento abrangente de fenômenos científicos complexos, como os relacionados ao acelerador de partículas e a luz síncrotron. Essa abordagem diversificada não apenas enriquece o conteúdo da SD, mas também reflete a natureza interconectada da ciência. Isso torna o material mais atrativo para uma variedade de alunos, ao mostrar como diferentes disciplinas contribuem para a compreensão de fenômenos.

Portanto, a interação com os professores que participaram da Escola Sirius permitiu incorporar feedback práticos sobre como abordar conceitos complexos sobre a luz síncrotron de maneira mais acessível e envolvente para os alunos do Ensino Médio. Essa colaboração estreita garante que a SD seja não apenas precisa em termos científicos, mas também em termos de comunicação e aprendizado.

O quinto objetivo específico, que buscou **investigar os processos argumentativos usando o Padrão de Argumentação de Toulmin**, proporcionou uma avaliação aprofundada dos processos argumentativos dos alunos. Isso contribuiu para uma compreensão mais refinada do desenvolvimento do pensamento crítico dos alunos durante a intervenção didática. Proporcionou a construção de uma estrutura analítica clara e sistemática o que colaborou para identificar e analisar elementos-chave em seus argumentos.

A construção dos padrões de argumentação, a partir das respostas dos grupos de alunos, foi bastante desafiador e trabalhoso. A construção do argumento exige o reconhecimento de variáveis e o estabelecimento de correlações entre elas, suportada por princípios e conceitos científicos. O TAP possibilitou a identificação das dificuldades que perpassaram as ideias construídas pelos estudantes durante a vivência da SEI e interpretação dos fenômenos estudados. Além disso, foi possível identificar as presunções e pressupostos subjacentes ao argumento. Isso foi crucial para compreender as bases e as crenças que fundamentaram as afirmações, o que proporcionou mais eficiência na análise dos dados.

No sexto objetivo específico, que buscou **identificar as potencialidades e fragilidades da SEI para a promoção da Alfabetização Científica (AC)**, observamos que os elementos estruturantes da SEI se mostraram bastante versáteis para a abordagem da temática escolhida,

possibilitando considerar múltiplas perspectivas, construção conceitual (termos e noções científicas), de conteúdos processuais (descrição de ações observadas, relação de causa e efeito, explicação do fenômeno observado), bem como, no desenvolvimento de atitudes e valores próprios da cultura científica.

Além disso, a associação de termos técnicos específicos, como campo magnético, redes magnéticas e eletroímã indica um nível de alfabetização científica adequado. A análise indicou potencialidades na promoção da AC, mas também revelou oportunidades para aprimorar a explicitação das conexões CTSA, contribuindo para uma compreensão mais holística.

Diante do exposto, consideramos que o estudo trouxe resultados positivos. Embora nem todos tenham alcançado o nível desejado de desenvolvimento de habilidades, com um grau satisfatório de consciência, de independência e de generalização, constatamos avanços significativos. Com isso, julgamos que a pesquisa contribuiu substancialmente para o desenvolvimento de sequências didáticas sobre o Sirius, explorando a luz síncrotron, favorecendo a aproximação entre a pesquisa e a prática.

Em síntese, os feedbacks dos professores da ESPEM ofereceram uma visão abrangente da validação da sequência didática. As sugestões forneceram diretrizes para otimizar o material, considerando a diversidade de contextos. A pesquisa oferece contribuições significativas para a compreensão do processo de ensino e aprendizagem desses conceitos científicos e direções para melhorias contínuas. A análise detalhada dos resultados proporciona uma base sólida para pesquisas adicionais e aprimoramento das práticas educacionais.

A Sequência de Ensino Investigativo, alinhada com a Divulgação Científica, destaca-se como um valioso instrumento didático no estudo da luz síncrotron e na divulgação do Acelerador de Partículas Brasileiro, Sirius. Diante das experiências observadas também conseguimos concretizar a expectativa referente ao uso da maquete na sala de aula que tornou o aprendizado mais envolvente e prático.

A tese alcançou significativamente os objetivos específicos propostos, proporcionando uma base sólida para a promoção do conhecimento científico da luz síncrotron e da divulgação do acelerador brasileiro, Sirius. Ao final de todo o processo, a utilização da SEI permitiu identificar dificuldades, obstáculos e estratégias, direcionando-nos para futuras investigações e desenvolvimento de propostas de ensino estruturadas.

Portanto, os efeitos e os resultados obtidos por esta pesquisa nos direcionam para futuras investigações desenvolvendo novas propostas de ensino estruturadas para aprofundar os estudos da Luz Síncrotron.

REFERÊNCIAS

ACIOLY, Vitor; PICORETI, Renan; ROCHA, Túlio; AZEVEDO, Gustavo; SANTOS, Antonio. **A luz síncrotron iluminando a formação de professores**. A Física na Escola, v.18, n. 2 de 2020. Disponível em <<https://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/vol18-Num2/FNE-18-2-20067.pdf>>. Acesso em: 18 Dezembro 2022.

ACIOLY, Vitor; **A luz síncrotron na formação de professores do Ensino Médio**. Tese (Doutorado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

AIDAR, L. **Catira**. Toda Matéria, 2010. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/catira/>>. Acesso em: 03 Agosto 2020.

ALBAGLI, S. **Divulgação Científica: informação científica para a cidadania? Ciência da Informação**, v. 25, n. 3, 1996. Disponível em: <<https://doi.org/10.18225/ci.inf.v25i3.639>>. Acesso em: 08 Setembro 2022.

ALMEIDA JÚNIOR, J. B. D. **A evolução do ensino de Física no Brasil**. Revista de Ensino de Física, v. 1, n. 2, p. 45-58, Outubro 1979.

ANDRADE, N. S. D. et al. **Investigação teórica e experimental do efeito termiônico**. Revista Brasileira de Ensino de Física, [online], v. 35, n. 1, p. 01-06, Março 2013. Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/S1806-11172013000100008>>. Acesso em: 10 Maio 2022.

ANGELI, A. **(Cedro) Cedrella Fissilis**. Infobibos, 2005. Disponível em: <<http://www.infobibos.com.br/Artigos/Cedros/Cedros.htm>>. Acesso em: 27 Dezembro 2023.

APOLO. **Grande Colisor de Hádrons: Começa a simulação do início do Universo**, 2008. Disponível em: <https://www.apolo11.com/noticias.php?t=Grande_Colisor_de_Hadrons_Comeca_a_simulacao_do_inicio_do_Universo&id=20080910-081301>. Acesso em: 28 Dezembro 2023.

BERTOLLI FILHO, Claudio. **A Divulgação Científica na mídia impressa: as Ciências Biológicas em foco**. Ciência e Educação, Bauru, v. 13, n. 3, p. 351-368, Dezembro 2007. ISSN 1516.7313. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1516-73132007000300006>>. Acesso em: 30 Janeiro 2022.

BRASIL. **Conselho Nacional de Saúde**. Resolução n. 466, de 12 de dezembro de 2012. Diário Oficial da União, Poder Executivo. Brasília, DF, p. 59-62. 2013. (1).

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular: a educação é a base**, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf>. Acesso em: 20 Julho 2023.

BRUM, J. A.; MENEGHINI, R. **Laboratório Nacional de Luz Síncrotron**. São Paulo em Perspectiva, São Paulo, n. 16, p. 48 - 56, 2002. ISSN 4.

BUENO, W. C. **Comunicação Científica e Divulgação Científica**: aproximações e rupturas conceituais. Informação e Informação, Londrina, v. 15, n. 1, p. 1-12, Dezembro 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.5433/1981-8920.2010v15n1espp1>>. Acesso em: 21 Agosto 2022.

CACHAPUZ, A. **A necessária renovação do ensino das ciências**. Cortez, São Paulo, 2005. Acesso em: 22 Setembro 2022.

CAIRES, L. **Maior acelerador de partículas do mundo passa por um upgrade. O que vem por aí?** Jornal da USP, São Paulo, Agosto 2019. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-exatas-e-da-terra/maior-acelerador-de-particulas-do-mundo-passa-por-um-upgrade-o-que-vem-por-ai/>>. Acesso em: 17 Julho 2023.

CAMPOS, C. R. P. **Divulgação Científica e Ensino de Ciências**, Vitória, v. 4, 2015. Disponível em: <<https://educimat.ifes.edu.br/images/stories/Publica%C3%A7%C3%B5es/Livros/Divulga%C3%A7%C3%A3o-Cient%C3%ADfica-e-Ensino-de-Ciencias-9788582630662.pdf>>. Acesso em: 27 Janeiro 2021.

CARLI, E. B. **Jornalismo Científico e o ensino de ciências no Brasil**: a utilização de notícias científicas no ensino de Biologia, Física e Química no 2º grau. Dissertação de Mestrado. Instituto Metodista de Ensino Superior, São Bernado do Campo, 1988.

CARVALHO, A. M. P. **Ensino de Ciências por investigação**: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

CARVALHO, E. R. **Mogno Swietenia Macrophylla**. Embrapa, 2007. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/42435/1/Circular140.pdf>>. Acesso em: 20 Dezembro 2020.

CERN. **O Grande Colisor de Hádrons**. Organização Europeia para a Investigação Nuclear, 2015. Disponível em: <<https://home.cern/science/accelerators/large-hadron-collider>>. Acesso em: 13 Outubro 2020.

CHASSOT, A. **Alfabetização Científica**: uma possibilidade para a inclusão social. Revista Brasileira de Educação, Vale dos Rios dos Sinos, v. 22, p. 89-100, Jan/Fev/Mar/Abr 2003. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbedu/a/gZX6NW4YCy6fCWFQdWJ3KJh/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 15 Outubro 2022.

CNPEM. **Projeto Sirius**: a nova fonte de luz síncrotron brasileira. Campinas: [s.n.], 2014. Disponível em: <<https://lnls.cnpem.br/wp-content/uploads/2016/08/Livro-do-Projeto-Sirius-2014.pdf>>. Acesso em: 02 Janeiro 2024.

CNPEM. **História do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron**: A construção, no Brasil, da fonte de luz síncrotron e de suas primeiras estações experimentais. Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais, 2015. Disponível em: <<https://cnpem.br/historia-do-laboratorio-nacional-de-luz-sincrotron-parte-2-a-construcao-no-brasil-da-fonte-de-luz-sincrotron-e-de-suas-primeiras-estacoes-experimentais/>>. Acesso em: 12 Junho 2021.

CNPEN. **Sirius: o que é e como funciona o acelerador de partículas brasileiro.** Centro Nacional de Pesquisa em Energias e Materiais, 2020. Disponível em: <<https://cnpem.br/sirius-o-que-e-e-como-funciona-o-acelerador-de-particulas-brasileiro/>>. Acesso em: 25 jan. 2023.

COIMBRA, V. **Sirius, acelerador de partículas que recebeu investimento público bilionário.** GZH Ciência e Tecnologia, 03 Maio 2023. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/tecnologia/noticia/2023/05/o-que-e-e-para-que-serve-o-sirius-acelerador-de-particulas-que-recebeu-investimento-publico-bilionario-clh8a5jwt00dl016xip0sehnf.html>>.

COSTA, T. Q.; ARRUDA, S. D. M.; PASSOS, M. M. **A formação de professores na escola de Física do CERN: uma análise a partir dos focos da aprendizagem do professor pesquisador.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 38, n. 2, p. 1230-1250, Agosto 2021.

COUTINHO, B. **Conheça o CERN, o maior laboratório de Física de Partículas em Genebra na Suíça.** Bethcouthinho, 18 Julho 2019. Disponível em: <<https://bethcouthinho.com.br/blog/conheca-o-cern-o-maior-laboratorio-de-fisica-de-particulas-em-genebra-na-suica/>>. Acesso em: 19 Outubro 2023.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: Métodos qualitativo, quantitativo e misto.** Tradução de Sandra Maria Mallmann da Rosa. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2021. ISBN ISBN 978-65-81334-19-2.

DECORA. **Conheça as 18 árvores nativas brasileiras mais importantes.** Viva Decora, 2019. Disponível em: <<https://www.vivadecora.com.br/pro/arvores-nativas/>>. Acesso em: 17 Dezembro 2020.

DORNELAS, S. **Árvores de Curitiba: conheça as recordistas de idade, altura e popularidade.** Gazeta, p. 96, 05 Setembro 2021. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/pino/local/arvores-de-curitiba-conheca-as-recordistas-de-idade-altura-e-popularidade/>>. Acesso em: 11 Fevereiro 2022.

ERDURAN,. **Argumentation in science education: Perspectives from classroom-based research.** Springe: [s.n.], 2008. Pág. 47-69.

ESRF. Education & Outreach. **End Stage Renal Failure**, 2018. Disponível em: <<https://www.esrf.fr/home/education.html>>. Acesso em: 18 Agosto 2020.

ESTEVEES, B. **A aposta do super acelerador.** Folha UOL, 2017. Disponível em: <https://piaui.folha.uol.com.br/a-aposta-do-superacelerador/?doing_wp_cron=1542197542.2130300998687744140625>. Acesso em: 25 Abril 2022.

FACHIN, O. **Fundamentos de Metodologia.** Saraiva, São Paulo-SP, n. 4, 2005.

FERMILAB. **FERMILAB aberto ao público.** FNAL Visitas, 2019. Disponível em: <<https://www.fnal.gov/pub/visiting/index.html>>. Acesso em: 28 Outubro 2021.

FERNANDES, T. G. E. A. **A construção de maquetes como recurso didático no ensino de geografia**. Revista Equador (UFPI), v. 7, n. 2, p. 96 - 109, 2018.

FERREIRA, L. N. A.; QUEIROZ, S. L. **Textos de Divulgação Científica no Ensino de Ciências: uma revisão**. Educação em Ciência e Tecnologia, Alexandria, v. 5, n. 1, p. 3-31, Maio 2012. ISSN 1982.153.

FERREIRA, A. B. H. **Ema**. Biomania, 1986. Disponível em: <<https://biomania.com.br/artigo/ema>>. Acesso em: 03 Agosto 2020.

FRANÇA, A. D. A. **Divulgação Científica no Brasil: espaços de interatividade na web**, São Carlos, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/7131/DissAAF.pdf?sequence=1>>.

GALDINO, E. **A importância da infraestrutura para a produção em C&T: o caso CNPEM/Sirius**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2021. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/297-a-importancia-da-infraestrutura-para-a-producao-em-c-t-o-caso-cnpe-m-sirius>>. Acesso em: 27 Abril 2022.

GARVEY, W. D.; GRIFFITH, B. C. **Communication: the essence of science**, Oxford: Pergamon Press, p. 332, 1979.

GERALDES, R. R. **Estudo de Sistema de Alinhamento de Magnetos para o Projeto Sirius a partir de Técnica**. Novas Técnicas, v. 3, p. 1 - 10, 2013. ISSN 3. Disponível em: <http://cbpfindex.cbpf.br/publication_pdfs/nt00613.2013_12_19_16_03_27.pdf>. Acesso em: 22 Julho 2020.

GIANOTTI, F. **Teacher Programmes**. CERN, 2020. Disponível em: <<https://teacher-programmes.web.cern.ch/>>. Acesso em: 27 Dezembro 2023.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. Atlas, São Paulo-SP, n. 6, 2008. ISSN 978-85-224-5142-5. Disponível em: <<https://ayanrafael.files.wordpress.com/2011/08/gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9cnicas-de-pesquisa-social.pdf>>.

GLEISER, M. **Sobre a Importância da Ciência**. São Paulo-SP. Folha de São Paulo. 17 Outubro 2010. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/ciencia/fe1710201003.htm>.

GOIS, J.; WARTHA, E. **Percepção do Público sobre as Atividades de Divulgação Científica**. Simpósio Brasileiro de Educação Química (SIMPEQUI), 2015. ISSN ISBN 978-85-85905-14-9. Disponível em: <<https://www.abq.org.br/simpequi/2015/trabalhos/90/6801-20708.html>>. Acesso em: 22 Agosto 2022.

GUIMARÃES, Y. A. F.; GIORDAN, M. **Elementos para validação de sequências**. IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Águas, 2013.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. 10ª. ed. [S.l.]: LTC, v. 2, 2016.

IZIQUÉ, C. **O homem da máquina**. Revista de Pesquisa FAPESP, 2020. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/o-homem-da-maquina/>>. Acesso em: 12 Junho 2021.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. 5. ed. Perspectiva S.A. São Paulo. 1997.

LIMA, G. D. S.; GIORDAN, M. **O movimento docente para o uso da divulgação científica em sala de aula: um modelo a partir da teoria da atividade**. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 18, n. 2, p. 493-520, Maio-Agosto 2018.

LNLS. **Primeiras imagens de microtomografia de Raios X são obtidas no Sirius**. Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, 2019. Disponível em: <<https://www.lnls.cnpm.br/noticias/primeiras-imagens-de-microtomografia-de-raio-x-sao-obtidas-no-sirius/>>. Acesso em: 24 Abril 2022.

LORENZETTI, L.; DELIZOICOV, D. **Alfabetização Científica no contexto das séries iniciais**. Revista Ensaio, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, p. 45 - 81, 2001.

MARQUES, F. **Desafios Compartilhados**. Revista de Pesquisa FAPESP, 2015. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/desafios-compartilhados/>>. Acesso em: 27 Dezembro 2023.

MARTINS, A. P. B. **A luz, sua História e suas Tecnologias: curso de atualização para professores da Educação Básica**. Rio de Janeiro. 2019.

MICKLAVZINA, S. **Bringing physics, synchrotron**. IOP Publishing, p. 221-230, mar. 2014. ISSN 0031-9120/14020221.

MORAES, A. D. S. **Uma Breve História da Luz**, 10 Setembro 2015. Disponível em: <<https://sites.unicentro.br/wp/petfisica/2015/09/10/uma-breve-historia-da-luz/>>. Acesso em: 15 Junho 2020.

MORAIS, M. B. X. E. A. **Avaliação diagnóstica no processo de ensino aprendizagem dos anos iniciais do Ensino Fundamental**. VII Congresso Nacional de Educação (Conedu), Campina Grande, 2020. ISSN ISSN: 2358-8829. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/80558>>. Acesso em: 02 Janeiro 2024.

MOREIRA, A. **Critérios e estratégias para garantir o rigor na pesquisa qualitativa**. Revista Brasileira Ensino de Ciência e Tecnologia, Curitiba, v. 11, p. 405 - 411, Janeiro-Julho 2018.

MOTA, J. D. S. **Utilização do Google Forms na Pesquisa Acadêmica**. Revista Humanidades e Inovação, v. 6, n. 12, 2019. Disponível em: <<file:///C:/Users/Thamires/Desktop/Para%20as%20Refer%C3%Aancias/1106-Texto%20do%20artigo-5581-3-10-20191011.pdf>>. Acesso em: 25 Agosto 2023.

OLIVEIRA, A. G. D.; SILVEIRA, D. **A Importância da Ciência para a Sociedade**, 25, 2013. Disponível em: <<http://revistas.cff.org.br/?journal=infarma&page=article&op=view&path%5B%5D=572&path%5B%5D=pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2022.

OLIVEIRA, F. L. D.; NÓBREGA, L. **Evasão escolar: um problema que se perpetua na educação brasileira.** Revista Educação Pública, v. 21, n. 19, Maio 2021. ISSN 1984.6290. Disponível em: <<https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/21/19/evasao-escolar-um-problema-que-se-perpetua-na-educacao-brasileira>>. Acesso em: 02 Janeiro 2024.

OLIVEIRA, I. **Nova fase de experimentos do acelerador de partículas LHC deve começar nesta terça-feira.** CNNBrasil, 04 Julho 2022. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/nova-fase-de-experimentos-do-acelerador-de-particulas-lhc-deve-comecar-nesta-terca-feira/>>.

PACHECO, H. P. et al. **Constelação em sala de aula: uma prática docente em um curso de formação de professores.** Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia, v. 1, n. 36, Dezembro 2023. ISSN 1806.7573. Disponível em: <<https://doi.org/10.37156/%20RELEA/2023.36.003>>. Acesso em: 02 Janeiro 2024.

PECHULA, M. R. **A Ciência nos meios de comunicação de massa: divulgação de conhecimento ou reforço do imaginário social?** Ciência e Educação, Bauru, v. 13, n. 2, Agosto 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1516-73132007000200005>>. Acesso em: 30 Janeiro 2022.

PERALTA, L. **Aceleradores em Física de Partículas.** CERN, 2018. Disponível em: <https://indico.cern.ch/event/38208/contributions/1807681/attachments/761413/1044533/acceleradores_2008.pdf>.

PETROFF, Y. **Radiação de Síncrotron no Brasil UVX e Sirius.** Ciência e Cultura, São Paulo, v. 69, n. 3, Julho/Setembro 2017. ISSN 2317.6660. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602017000300007>>. Acesso em: 02 Janeiro 2024.

PIAGET, J. **Psicologia e Pedagogia.** Tradução de Dirceu A. Lindoso e Rosa M.R. da Silva. Rio de Janeiro: Forense/Universitária, 1976.

POZO, J. I. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico.** Artmed, Porto Alegre, 2009.

PRADO, L. **Contra negacionismos, livro defende a confiança nas ciências.** Jornal da USP. São Paulo, 20 Outubro 2023. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/cultura/contra-negacionismos-livro-defende-a-confianca-nas-ciencias/>>. Acessado em 12 Novembro 2023.

RAUEN, C. V. **O Projeto Sirius e as Encomendas Tecnológicas,** 2016. Disponível em: <<http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8955/1/O%20Projeto%20Sirius.pdf>>. Acesso em: 01 Agosto 2020.

REIS, P. **The impact of student-curated exhibitions about socio-scientific issues on students' perceptions regarding their competences and the science classes.** Sustainability. Lisboa, Portugal. 2020. 12: 1-13. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12072796>

ROCHA, M. B. **Contribuições dos textos de divulgação científica para o ensino de Ciências na perspectiva dos professores.** Acta Scientiae Canoas, v. 14, n. 1, p. 132 - 150, Janeiro/Abril 2012. Disponível em: <<http://posgrad.ulbra.br/periodicos/index.php/acta/article/viewFile/216/201>>.

Acesso em: 11 Agosto 2022.

ROSA, G. S. **O que é o acelerador de partículas Sirius e por que ele é tão importante?**, 14 Novembro 2018. Disponível em: <<https://gizmodo.uol.com.br/sirius-acelerador-de-particulas-brasil/>>. Acesso em: 21 Julho 2020.

SANTOS, C. A. **Luz Síncrotron, o que é isso?**, 03 maio 2013. Disponível em: <<https://cienciahoje.org.br/coluna/luz-sincrotron-o-que-e-isso/>>. Acesso em: 17 maio 2020.

SANTOS, C. A. D. **Dar à luz a Luz**, 05 Outubro 2015. Disponível em: <<https://www.ihuonline.unisinos.br/artigo/6167-carlos-alberto-dos-santos>>. Acesso em: 25 Junho 2020.

SANTOS, C. A. D. **Luz síncrotron, o que é isso? Ciência Hoje**, 10 Abril 2019. Disponível em: <<https://cienciahoje.org.br/coluna/luz-sincrotron-o-que-e-isso/>>. Acesso em: 15 Maio 2023.

SANTOS, W. L. P. **Educação científica na perspectiva de letramento como prática social: funções, princípios e desafios**. Revista Brasileira de Educação, v. 12, n. 36, Dezembro 2007. ISSN 1809.449X. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-24782007000300007>>. Acesso em: 29 Agosto 2022.

SASSERON, L. H. **Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola**. Ensino, Pesquisa, Educação e Ciência, Belo Horizonte, Novembro 2015.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. **Uma Análise de Referenciais Teóricos sobre a Estrutura do Argumento para Estudos de Argumentação no Ensino de Ciências**. Ensaio, v. 13, n. 3, p. 243-262, 2011.

SAVIGNANO, V. **Especial: Sirius, o novo síncrotron brasileiro de última geração.**, 31 Março 2016. Disponível em: <<https://www.sbpmat.org.br/pt/especial-sirius-o-novo-sincrotron-brasileiro-de-ultima-geracao/>>. Acesso em: 23 Julho 2020.

SBPMAT. **História do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron: o sonho de uma grande máquina de pesquisa no Brasil e os passos prévios à construção do laboratório**. Sociedade Brasileira de Pesquisa em Materiais, 2015. Disponível em: <<https://www.sbpmat.org.br/pt/historia-do-laboratorio-nacional-de-luz-sincrotron-parte-1-o-sonho-de-uma-grande-maquina-de-pesquisa-no-brasil-e-os-passos-previos-a-construcao-do-laboratorio/>>. Acesso em: 20 Julho 2021.

SBPMAT, S. B. D. P. E. M. **Especial: Sirius, o novo síncrotron brasileiro de última geração**. SBPMat, 31 Março 2016. Disponível em: <<https://www.sbpmat.org.br/pt/especial-sirius-o-novo-sincrotron-brasileiro-de-ultima-geracao/>>.

SILAS, J. **O que são os raios X?**, 2022. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-sao-os-raios-x.htm#>>. Acesso em: 28 Abril 2022.

SILVA, A. J. R. D.; WESTFAHL JÚNIOR, H. **Projeto Sirius**. Ciência e Cultura, São Paulo, v. 69, p. 23-29, Julho/Setembro 2017. ISSN 2317-6660. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602017000300008>>. Acesso em: 02 Janeiro 2024.

SILVA, E. S. D.; MARTIN, R. W. S.; BELINE, W. **Modelagem matemática na construção de maquetes:** trabalhando com sólidos geométricos. XII EPREM - Encontro Paranaense de Educação Matemática, Paraná, p. 17, Fevereiro 2023 2014. Disponível em: <>.

SNEF. XXV Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2023. Disponível em: <<https://www1.fisica.org.br/~snef/xxv/index.php/pt/>>. Acesso em: 28 Dezembro 2023.

SOUSA, F. F.; CAVALCANTE, L. V. S.; PINO, J. C. **Alfabetização científica e/ou letramento científico:** reflexões sobre o Ensino de Ciências. Revista Educa Mais, v. 5, n. 5, 2021. ISSN 1299 -1312.

TEIXEIRA, P. M. M. **Uma proposta de tipologia para pesquisas de natureza interventiva.** Ciência & Educação, Bauru, Outubro-Dezembro 2017.

TELES, T. D. P. Z. . E. O. J. R. S. D. **O uso de textos de divulgação científica na educação em saúde:** uma revisão de atividades didáticas. Ensino, Saúde e Ambiente, p. 01-20, 2021.

TOULMIN, S. E. **O uso do argumento.** Martins Fontes, São Paulo, n. 2, 2006.

VALÉRIO, P. M.; PINHEIRO, L. V. R. **Da Comunicação Científica à Divulgação.** TransInformação, Campinas, v. 20, n. 2, p. 159-169, Maio/Agosto 2008. Disponível em: <<https://periodicos.puc-campinas.edu.br/transinfo/article/download/6255/3952>>. Acesso em: 23 Agosto 2022.

ZORZETTO, R. **Salto para um brilho maior.** Revista Pesquisa FAPESP, 2018. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/salto-para-um-brilho-maior/>>. Acesso em: 25 Julho 2021.

ZORZETTO, R. **As Primeiras Imagens.** Pesquisa FAPESP, n. 287, Janeiro 2020. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/as-primeiras-imagens/>>. Acesso em: 19 Julho 2020.

APÊNDICES

APÊNDICE A**Relação dos Livros Didáticos Avaliados**

ITEM	LIVRO	ANO	DISCIPLINA	AUTORES	SÉRIE	OBSERVAÇÃO
1.	Físico-química 5ª edição Ed. Moderna	2000	Química	Feltre	2ª do E.M.	Não foram encontrados nenhum registro sobre a temática dessa pesquisa
2.	Física Geral Edição Única Ed. Saraiva	2009	Física	Mozart Neves	Volume Único	Não foram encontrados nenhum registro sobre a temática dessa pesquisa
3.	Curso de Física 1ª edição Ed. Scipione	2011	Física	Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga	Volume Único	Pág. 217 - 221
4.	Bio – Parte 1 1ª edição Ed. Saraiva	2014	Biologia	Sônia Lopes e Sérgio Rosso	2ª do E.M.	Não foram encontrados nenhum registro sobre a temática dessa pesquisa
5.	Biologia Conecte 1ª edição Ed. Saraiva	2014	Biologia	Isabel Rebelo	2ª do E.M.	Não foram encontrados nenhum registro sobre a temática dessa pesquisa
6.	Química Conecte 1ª edição Ed. Saraiva	2014	Química	Usberco e Salvador	1ª do E.M.	Não foram encontrados nenhum registro sobre a temática dessa pesquisa
7.	Química Conecte – Parte 2. 1ª edição Ed. Saraiva	2014	Química	Usberco e Salvador	1ª do E.M.	Não foram encontrados nenhum registro sobre a temática dessa pesquisa
8.	Física aula por aula 3ª edição Ed. FTD	2016	Física	Genigno Barreto e Cláudio Chavier	3ª do E.M.	Pág. 243
9.	Física aula por aula 3ª edição Ed. FTD	2016	Física	Genigno Barreto e Cláudio Chavier	2ª do E.M.	Não foram encontrados nenhum registro sobre a temática dessa pesquisa
10.	Livro de Química 2ª edição Ed. Ática	2016	Química	Martha Reis	2ª do E.M.	Não foram encontrados nenhum registro sobre a temática dessa pesquisa
11.	Livro de Química 2ª edição	2016	Química	Martha Reis	3ª do E.M.	Pág. 274

12.	Biologia Moderna 1ª edição Ed. Moderna	2016	Biologia	José Mariano e Gilberto Rodrigues	3ª do E.M.	Não foram encontrados nenhum registro sobre a temática dessa pesquisa
13.	Biologia Moderna 1ª edição Ed. Moderna	2016	Biologia	José Mariano e Gilberto Rodrigues	2ª do E.M.	Não foram encontrados nenhum registro sobre a temática dessa pesquisa
14.	Bio 3ª edição Ed. Saraiva	2017	Biologia	Sônia Lopes e Sérgio Rosso	3ª do E.M.	Não foram encontrados nenhum registro sobre a temática dessa pesquisa
15.	Bio 3ª edição Ed. Saraiva	2017	Biologia	Sônia Lopes e Sérgio Rosso	2ª do E.M.	Não foram encontrados nenhum registro sobre a temática dessa pesquisa
16.	Livro de Física 4ª edição Ed. Saraiva	2017	Física	Kazuhito e Fuke	2ª do E.M.	Não foram encontrados nenhum registro sobre a temática dessa pesquisa
17.	Ciências da Natureza 1ª edição Ed. Moderna	2020	Ciências da Natureza e Suas Tecnologias	Nicolau Gilberto e Paulo Cesar	1ª do E.M.	Não foram encontrados nenhum registro sobre a temática dessa pesquisa
18.	Livro Universo e Evolução	2021	Ciências da Natureza e Suas Tecnologias	José Mariano, Gilberto Rodrigues, Nicolau Gilberto, Paulo Cesar, Carlos Magno, Júlio Soares, Eduardo Leite e Laura Celloto	1ª do E.M.	Pág. 102
19.	Natureza em Transformação 1ª edição Ed. Moderna	2021	Ciências da Natureza e suas Tecnologias	Ana Claudia, Cesar Brumini e Maria Clara	1ª do E.M.	Não foram encontrados nenhum registro sobre a temática dessa pesquisa
20.	Livro Água e Vida 1ª edição Ed. Moderna	2021	Ciências da Natureza e suas Tecnologias	José Mariano, Nicolau Gilberto, Paulo Cesar, Carlos Magno, Júlio Soares, Eduardo Leite e Laura Celloto	1ª do E.M.	Não foram encontrados nenhum registro sobre a temática dessa pesquisa

Fonte: Autoria Própria, 2023.

APÊNDICE B**Trabalhos Publicados em Eventos e Revista Abordando o Ensino de Aceleradores de Partículas, Luz Síncrotron e a Divulgação do Sirius**

EVENTO/ REVISTA	ANO	TÍTULO	AUTORES	INSTITUIÇÃO
ENPEC	2009	O acelerador de partículas Pelletron: uma visão sobre o divulgar ciência em laboratórios de pesquisa	Graciella Watanabe Marcelo Munhoz	USP
	2015	Aceleradores e detectores de partículas sob o olhar da Transposição Didática	Carlos Alexandre Batista Maxwell Siqueira Yasmin Reis	UESC
	2017	A programabilidade da Física de partículas elementares no caderno do aluno do estado de São Paulo	Júlio de Mesquita Filho	UNESP
SNEF	2013	Uma proposta para a sala de aula sobre a Física Nuclear e a Física de partículas	Cleide Matheus Rizzatto Giselle W. Caramello Gracielle Watanabe Henrique S. Shiino	IFSP
	2013	O ensino de partículas elementares por meio da leitura de “Alice no país do quantum”	Jaqueline Maria Pereira Leandro Londero	UNIFENAS
	2013	A Física, a cultura e os aceleradores de partículas: articulações possíveis em sala de aula	Danilo Cardoso R. Luiz Graciella Watanabe Ivã Gurgel	USP
	2015	A construção do CERN para a divulgação da Física de Partículas	Pedro Abreu	Universidade de Lisboa
	2015	A problemática da representação de partículas elementares: a construção de um átomo	Jonathan T. de J. Neto Henrique César da Silva	UFSC
	2015	Enfoque CTS para inserção de partículas elementares no ensino médio: uma proposta de pesquisa a partir do LHC	Giovanna M. Parizotto Igor Aparecido Alves Luiz G. R. Genovese	UFGO / UFG
	2017	A programabilidade da Física de partículas elementares em coleções didáticas	Leandro Londero Rafael Gombrade	UNESP
	2017	Desenvolvimento de um jogo didático de Física de partículas para o Ensino Médio	Amanda Allersdorfer Marcia Begalli Paulo Victor N. da Costa	UERJ

	2021	Amplia ciências: formação de professores de ciências em CTSA a partir da Luz Síncrotron	Rafaelle da Silva Souza Taneska Santana Cal	UFBA / IFBA
RBEF	2013	O LHC (Large Hadron Collider) e a nossa Física de cada dia	Fábio Kopp Nóbrega Luiz Fernando Mackedanz	UFRG
	2016	A descrição do funcionamento de um motor homopolar linear e suas aplicações: ilustrando o funcionamento de um acelerador de partículas	Adriano Doff Romeu M. Szmoski	UTFPR
Ciência e Educação	2017	A divulgação científica e os físicos de partículas: a construção social de sentidos e objetivos	Graciella Watanabe Maria Regina Kawamura	CERN
Teses e Dissertações	2015	Partículas elementares e interações: uma proposta de ensino e aprendizagem através de uma sequência didática interativa	Valéria B. Jerzewski	UFRG
	2016	Física de partículas na escola: um jogo educacional	Ricardo Luís de Ré	UFSC
	2016	Inserção de conceitos de Física de Partículas elementares no Ensino Médio por meio de um material paradidático	William Ferreira de Sousa	UnB
	2017	Aceleradores e detectores de partículas no Ensino Médio: uma sequência de Ensino-aprendizagem	Yasmin A. R. Silva	UESC
	2017	Física de Partículas: possibilidade para o Ensino Médio	Jorge Luís da Sivila	URCA
	2018	Projeto Sirius: como a mídia retrata a construção da mais cara e complexa infraestrutura científica do país	Ricardo S. de Aguiar	UNICAMP

Fonte: Autoria Própria, 2022.

APÊNDICE C

Instrumento Avaliativo da Sequência Didática

(Primeira fase da pesquisa com os professores participantes da ESPEM)

Convidamos o(a) Sr.(a) para participar como voluntário(a) da pesquisa "Luz Síncrotron: uma abordagem para o ensino médio na perspectiva de divulgação científica", que está sob a responsabilidade do pesquisador Rubens Antônio da Silva, e-mail: rubens.2006@hotmail.com e orientação da professora Dr^a. Helaine Sivini Ferreira, e-mail: helaine.ferreira@ufrpe.br. A coleta de dados será exclusivamente online, a partir deste formulário. Todas as suas dúvidas podem ser esclarecidas com o responsável por esta pesquisa. Pedimos que você responda, se deseja participar dessa pesquisa voluntariamente. Suas respostas serão automaticamente enviadas para o e-mail informado. Você estará livre para decidir participar ou recusar-se. Caso não aceite participar, não haverá nenhum problema, desistir é um direito seu, bem como será possível retirar o consentimento em qualquer fase da pesquisa, também sem nenhuma penalidade. O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) completo está disponível no link (Anexo C):

https://drive.google.com/file/d/1-pzAfv1pkT_prHqiN0AzqoMQz71p5arF/view?usp=drivesdk.

Todas as informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Os dados coletados nesta pesquisa ficarão armazenados em pastas de arquivo em um computador pessoal, sob a responsabilidade do pesquisador Rubens Antônio da Silva e da pesquisadora orientadora Helaine Sivini Ferreira, pelo período mínimo de 5 anos após o término dessa pesquisa. Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, você poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa – CEP/UFRPE no endereço: Rua Manoel de Medeiros, S/N Dois Irmãos – CEP: 52171-900 Telefone: (81) 3320.6638 / e-mail: cep@ufrpe.br (1º andar do Prédio Central da Reitoria da UFRPE, ao lado da Secretaria Geral dos Conselhos Superiores). Site: www.cep.ufrpe.br

Após a leitura do TCLE, fui devidamente informado (a) e esclarecido (a) pelo pesquisador sobre a pesquisa, os procedimentos envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade. Diante das explicações você acha que está suficientemente informado (a) a respeito da pesquisa que será realizada e concorda de livre e espontânea vontade em participar, como colaborador (a)?

- Sim, concordo na participação voluntária desta pesquisa;
- Não concordo em participar voluntariamente desta pesquisa.

Questionário de Validação da Sequência Didática

A pesquisa em questão tem como objetivo analisar as contribuições da utilização da Divulgação Científica (DC) na abordagem da radiação da Luz Síncrotron e do acelerador de partículas Sirius no ambiente escolar. A proposta é criar um ambiente investigativo que se possa conduzir e mediar os estudantes na busca do conhecimento sobre essa temática. Para isso, foi estruturada uma Sequência Didática (SD) com base nas interações didáticas dos pontos das atividades que compõe a Sequência de Ensino Investigativo (SEI).

A SEI se divide em quatro etapas: Problema experimental ou teórico, que tem o objetivo de conduzir os alunos na tomada de consciência de suas ações, na organização de suas ideias e na construção de evidências; na sistematização do conhecimento, que é o espaço em que o professor promove o diálogo dos estudantes com os colegas; na contextualização e aprofundamento do conhecimento, onde ocorre o estudo mais detalhado do conteúdo com recursos de textos didáticos, artigos, revistas e mídias digitais; e por fim, práticas inovadoras de avaliação, em que o professor promoverá avaliações do tipo formativa.

Com base nas informações supracitada, esse instrumento é dividido em quatro blocos avaliativos, um bloco para cada etapa da SEI. Cada bloco avaliativo apresentará instruções que orientam a avaliação que será feito na SD, esta que só será possível com o auxílio de alguns documentos (enviados em anexo), no qual estão descritos, de forma detalhada, todos os elementos que deverão ser avaliados neste processo de validação: que são os objetivos de ensino-aprendizagem (OEA) com suas respectivas ações didáticas (AD), além das avaliações de “totalmente adequadas”, “parcialmente adequadas” e “inadequadas”, também haverá espaços para justificativas e/ou sugestões. Além desses, haverá um outro quadro de itens com suas respectivas indagações avaliativas de “concordo totalmente”, “concordo parcialmente” e “discordo”. Em suma, é com a análise dos documentos em anexo que a avaliação da SD poderá ser realizada.

Feitas essas considerações, desejamos a todos/todas uma excelente experiência avaliativa, reiteramos a nossa gratidão pelo apoio prestado e nos colocamos à disposição para quaisquer dúvidas!

Perfil do (a) Avaliador (a)

Nome completo (Opcional):

Tempo de experiência docente:

Estado em que leciona (é possível marcar mais de uma opção):

Marque a alternativa que mais se aproxima da sua área de atuação (é possível marcar mais de uma opção).

- Linguagens e suas tecnologias;
- Matemática e suas tecnologias;
- Ciências da natureza e suas tecnologias
- Ciências humanas e sociais aplicadas

Blocos Avaliativos

* PRIMEIRO BLOCO AVALIATIVO *

Proposição do problema a ser investigado (primeira etapa da SEI)

Instrução para Avaliação: Neste bloco deve ser avaliado o que corresponde a primeira etapa da SEI: problema experimental ou teórico. Para isso, construímos uma maquete didática do acelerador de partículas, que faz analogia funcional do acelerador Sirius e que será usado ao longo das etapas da SEI. Com o uso da robótica com a plataforma do Arduino, criamos um código que simula as partículas se movimentando e sendo aceleradas que simula as partículas em movimento no tubo e a geração da Luz Síncrotron. Dessa maneira, deve ser analisado se os objetivos de ensino-aprendizagem auxiliam na proposição do problema para ser investigado. Para isso, o/a avaliador(a) deve escolher, na coluna A, do quadro a seguir, a alternativa que melhor representa a sua análise sobre a coerência entre os objetivos de ensino-aprendizagem (OEA) e as ações didáticas (AD) construídas com o uso da maquete, e na coluna B é possível justificar sua escolha, bem como sugerir a retirada, a modificação, a reconstrução e/ou o acréscimo de OEA ou AD. Caso precise fazer mais observações sobre esta etapa, o/a avaliador(a) pode utilizar o espaço reservado na última linha do quadro abaixo.

Objetivos de Ensino-aprendizagem (OEA):

- **OEA1.** Criar um ambiente favorável para a realização das atividades.
- **OEA2.** Proporcionar as primeiras percepções dos estudantes acerca de um acelerador de partículas.
- **OEA3.** Promover o problema experimental, que é a primeira etapa da SEI no intuito de iniciar as reflexões dos estudantes na construção do conhecimento.
- **OEA4.** Conduzir os estudantes na tomada de consciência, na construção das ideias e na construção das evidências sobre o funcionamento do acelerador de partículas.

Encontro 1: 2horas/aula

Ações Didáticas (AD):

- **AD1.** Organizar a sala dos discentes, onde será desenvolvida a intervenção, em círculos, de forma que possam ver uns aos outros de frente.
- **AD2.** Mostrar a maquete do acelerador de partícula desligado para que os estudantes olhem com atenção os componentes e toda a estrutura da maquete.
- **AD3.** Colocar a maquete para funcionar e, com o uso do potenciômetro, aumentar, aos poucos, a frequência de mudança dos Leds para dar a ilusão que a luz está se movimentando dentro do tubo, até atingir sua velocidade máxima.
- **AD4.** Aplicar as questões problematizadoras.

Adequação das AD com os OEA		Justificativa e/ou sugestões	
a) Totalmente adequadas b) Parcialmente adequadas c) Inadequadas		Espaço para justificativas e/ou sugestões. Aqui podem ser considerados aspectos como a quantidade de ações de didáticas em relação ao tempo destinado ao encontro, a sequência das ações didáticas, a pertinência delas para o encontro em avaliação e/ou qualquer outro aspecto que o/a avaliador(a) considere importante.	
ITENS PARA AVALIAÇÃO		AVALIAÇÃO	JUSTIFICATIVA E/OU SUGESTÕES
1.	A maquete tem potencial pedagógico para auxiliar e promover a discussão do acelerador de partículas.	a) Concordo Totalmente b) Concordo Parcialmente c) Discordo	
2.	As questões norteadoras têm potencial para promover a construção de ideias.	a) Concordo Totalmente b) Concordo Parcialmente c) Discordo	
3.	A sequência das ações tem coerência e estão adequadas ao objetivo dessa primeira etapa.	a) Concordo Totalmente b) Concordo Parcialmente c) Discordo	
4.	O tempo para esta etapa está adequado.	a) Concordo Totalmente b) Concordo Parcialmente c) Discordo	

Espaço para outras informações/sugestões que considere relevante

*** SEGUNDO BLOCO AVALIATIVO ***

Sistematização do conhecimento (segunda etapa da SEI)

Instrução para Avaliação: Neste bloco deve ser avaliado a segunda etapa da SEI: sistematização do conhecimento. A proposta é que o professor, em sala de aula, dê continuidade a sistematização coletiva do conhecimento. Nessa etapa, os alunos vão discutindo e dialogando com os colegas, suas respostas que fizeram individualmente na etapa anterior.

Objetivos de Ensino-aprendizagem (OEA):	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ OEA1. Promover a interação, entre os pares, das percepções dos estudantes da etapa anterior. ➤ OEA2. Promover o entendimento e qual a função das peças da maquete que representa o acelerador de partículas Sirius. 	
Encontro 1: 1horas/aula	
Ações Didáticas (AD):	
<ul style="list-style-type: none"> • AD1. O professor irá promover a leitura das respostas individuais dos estudantes bem como ouvir as suas justificativas. • AD2. O professor irá repassar aos estudantes todo o processo de resolução das questões, de forma mais científica, mais conceitual e mais sistematizada. 	
Adequação das AD com os OEA	Justificativa e/ou sugestões
a) Totalmente adequadas b) Parcialmente adequadas c) Inadequadas	Espaço para justificativas e/ou sugestões. Aqui podem ser considerados aspectos como a quantidade de ações de didáticas em relação ao tempo destinado ao encontro, a sequência das ações didáticas, a pertinência delas para o encontro em avaliação e/ou qualquer outro aspecto que o/a avaliador(a) considere importante.

ITENS PARA AVALIAÇÃO		AVALIAÇÃO	JUSTIFICATIVA E/OU SUGESTÕES
1.	A resolução das questões problematizadoras estão de acordo com o que está na literatura.	a) Concordo Totalmente b) Concordo Parcialmente c) Discordo	
2.	A organização proposta dos discente tem potencial de promover o debate a discussão das ideias.	a) Concordo Totalmente b) Concordo Parcialmente c) Discordo	

3.	O tempo para esta etapa está adequado.	a) Concordo Totalmente b) Concordo Parcialmente c) Discordo	
4.	Esta etapa da SEI tem potencial didático para construir um espaço de discussão e produção de conhecimento.	a) Concordo Totalmente b) Concordo Parcialmente c) Discordo	

Espaço para outras informações/sugestões que considere relevante

--

*** TERCEIRO BLOCO AVALIATIVO ***

Contextualização e aprofundamento do conhecimento (terceira etapa da SEI)

Instrução para Avaliação: Neste bloco deve ser avaliado a terceira etapa da SEI: contextualização e aprofundamento do conhecimento. Para isso, construímos um material que faça com que o estudante possa aprender mais sobre o Sirius e a luz síncrotron. O material é composto de textos, artigos de revistas e vídeos de divulgação.

Objetivos de Ensino-aprendizagem (OEA):	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ OEA1. Ir além dos conteúdos estudados e explorados na etapa anterior. ➤ OEA2. Promover a divulgação do Sirius bem como as atividades desenvolvidas nesse espaço. ➤ OEA3. Promover o estudo da Luz Síncrotron e suas aplicações. 	
Encontro 1: 2horas/aula	
Ações Didáticas (AD):	
<ul style="list-style-type: none"> • AD1. Explorar os conceitos utilizando os três tipos de materiais didáticos (vídeos e artigos). • AD2. Promover a discussão e o debate durante a exploração do material. 	
Adequação das AD com os OEA	Justificativa e/ou sugestões
a) Totalmente adequadas b) Parcialmente adequadas c) Inadequadas	Espaço para justificativas e/ou sugestões. Aqui podem ser considerados aspectos como a quantidade de ações de didáticas em relação ao tempo destinado ao encontro, a sequência das ações didáticas, a pertinência delas para o encontro em avaliação e/ou qualquer outro aspecto que o/a avaliador(a) considere importante.

ITENS PARA AVALIAÇÃO		AVALIAÇÃO	JUSTIFICATIVA E/OU SUGESTÕES
1.	O tempo estimado para esta etapa está adequado aos objetivos e as ações propostas.	a) Concordo Totalmente b) Concordo Parcialmente c) Discordo	
2.	Material de leitura 1 tem potencial pedagógico para promover um aprendizado e divulgação do Sirius e da luz síncrotron.	a) Concordo Totalmente b) Concordo Parcialmente c) Discordo	

3.	O material digital produzido pelo pesquisador tem potencial para aprofundar os conhecimentos do tema abordado.	a) Concordo Totalmente b) Concordo Parcialmente c) Discordo	
4.	O material digital do CNPEM tem potencial para aprofundar os conhecimentos do tema abordado.	a) Concordo Totalmente b) Concordo Parcialmente c) Discordo	

Espaço para outras informações/sugestões que considere relevante

--

*** QUARTO BLOCO AVALIATIVO ***

Avaliação com seu respectivo feedback (quarta etapa da SEI)

Instrução para Avaliação: Neste bloco deve ser avaliado a quarta etapa da SEI: avaliação com seu respectivo feedback. Na sequência didática, será aplicada a avaliação formativa, que é uma alternativa aos métodos tradicionais de avaliação escolar. em que é baseado em diálogo/comentários e auto avaliação.

Objetivos de Ensino-aprendizagem (OEA):	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ OEA1. Verificar, em cada etapa, se os estudantes conseguiram internalizar os conhecimentos discutidos. ➤ OEA2. Monitorar o progresso dos alunos e identificar quais desafios eles estejam enfrentando à medida que aprendem. ➤ OEA3. Gerar um feedback individual e coletivo dos resultados das avaliações e do processo de aprendizagem dos estudantes. 	
Encontro 1: 30 a 50 minutos para cada atividade avaliativa	
Ações Didáticas (AD):	
<ul style="list-style-type: none"> • AD1. Aplicação de fichas de atividades em cada etapa. • AD2. Discutir os resultados das atividades de forma coletiva. • AD3. Construção de uma devolutiva individual e coletiva com os resultados dos estudantes que participaram da intervenção didática. 	
Adequação das AD com os OEA	Justificativa e/ou sugestões
a) Totalmente adequadas b) Parcialmente adequadas c) Inadequadas	Espaço para justificativas e/ou sugestões. Aqui podem ser considerados aspectos como a quantidade de ações de didáticas em relação ao tempo destinado ao encontro, a sequência das ações didáticas, a pertinência delas para o encontro em avaliação e/ou qualquer outro aspecto que o/a avaliador(a) considere importante.

ITENS PARA AVALIAÇÃO		AVALIAÇÃO	JUSTIFICATIVA E/OU SUGESTÕES
1.	As fichas de exercícios, no final de cada atividade, têm potencial de avaliar e diagnosticar o aprendizado dos estudantes.	a) Concordo Totalmente b) Concordo Parcialmente c) Discordo	
2.	A sequência de atividades tem potencial de criar uma lógica de construção de ideias.	a) Concordo Totalmente b) Concordo Parcialmente c) Discordo	

3.	As atividades sugeridas têm potencial de estimular e ampliar a visão panorâmica do ensino-aprendizagem.	a) Concordo Totalmente b) Concordo Parcialmente c) Discordo	
4.	A atividade 1 – Glossário tem potencial pedagógico para explorar os termos do material de leitura 1.	a) Concordo Totalmente b) Concordo Parcialmente c) Discordo	
5.	A atividade 2 tem potencial explorar os conhecimentos prévios dos estudantes e sobre a luz e suas propriedades.	a) Concordo Totalmente b) Concordo Parcialmente c) Discordo	
6.	A atividade 3 tem potencial didático explorar os conteúdos sobre a radiação eletromagnética?	a) Concordo Totalmente b) Concordo Parcialmente c) Discordo	
7.	A devolutiva individual e coletiva tem potencial didática que favoreça a reflexão, dos acertos e erros do estudantes, e contribua para aprimorar as habilidades e aumentar conhecimento.	a) Concordo Totalmente b) Concordo Parcialmente c) Discordo	

Espaço para outras informações/sugestões que considere relevante

--

Muito obrigado por seu empenho em nos ajudar com esta avaliação!

APÊNDICE D**Teste Diagnóstico**

Prezado(a) estudante:

As questões abaixo têm o objetivo de reconhecer saberes construídos e dificuldades no estudo da radiação eletromagnética da luz síncrotron e do acelerador de partículas Sirius. Sua colaboração, ao responder, será muito importante para o aprimoramento e busca de elementos para o desenvolvimento da sequência didática da pesquisa em curso.

Nome: Gênero: Masculino
 Feminino
 Idade: Série: Data: ___/___/___

Escola / Instituição de Ensino:

1. Você já teve conhecimento sobre Ondas Eletromagnéticas?

Sim Não

Caso sua resposta tenha sido sim, saberia definir o que são? Conseguiria citar alguns exemplos?

2. Você já teve conhecimento sobre aceleradores de partículas?

Sim Não

Caso sua resposta tenha sido sim, saberia definir o que é?

3. Você já teve conhecimento sobre o acelerador de partículas Sirius?

Sim Não

Caso sua resposta tenha sido sim, saberia dizer onde este acelerador está localizado?

4. Você já ouviu falar sobre a Luz Síncrotron?

Sim Não

Caso sua resposta tenha sido sim, saberia definir o que é?

MUITO OBRIGADO PELA SUA PARTICIPAÇÃO!

APÊNDICE E**Questões Problematizadoras
(1ª Etapa da SEI)**

Prezado(a) estudante:

As questões abaixo têm o objetivo de reconhecer suas percepções perante a maquete da analogia funcional do acelerador de partícula. Observe com atenção todos os componentes, bem como seu funcionamento e responda as perguntas abaixo.

Nome: Gênero: Masculino
 FemininoIdade: Série:

Data: __/__/__

Escola / Instituição de Ensino:

1. Conseguiria identificar alguns componentes no amparato experimental e qual seria a função deles?

2. Por que o tubo do acelerador tem o formato circular?

3. No Sirius em Campinas, qual é o componente responsável por aumentar a velocidade da partícula?

4. O que seria essas cabines no final do tubo que percorre a luz e para que serve?

APÊNDICE F

Resolução das Questões Problematizadoras (1ª Etapa da SEI)

Prezado(a) Professor(a):

Segue a resolução das questões problematizadoras que foram postas aos estudantes. Ressaltamos que essa resolução não é única e você pode aprofundar e buscar outras explicações como complemento a essas.

Bom trabalho!

1º) Conseguiria identificar alguns componentes no experimento e qual seria a função deles na maquete?

Fios Condutores: Sua função é conduzir corrente elétrica para os componentes do circuito.

Mangueira Plástica Flexível e Transparente: Representa os tubos do acelerador de partículas em que os elétrons percorrem! O trajeto dos elétrons no acelerador Sirius pode ser compreendido em diversas etapas, desde a saída do canhão até a geração da luz síncrotron nas estações experimentais. O processo começa com a geração dos elétrons em um canhão de elétrons. Nessa etapa, elétrons são emitidos e focalizados para formar um feixe inicial. O feixe de elétrons é então encaminhado para uma seção inicial do acelerador, onde é submetido a campos elétricos que o aceleram, aumentando sua energia. Após a aceleração inicial, os elétrons são injetados no anel de armazenamento síncrotron. Esse anel é uma estrutura circular composta por ímãs eletromagnéticos que geram campos magnéticos intensos. Dentro do anel, os elétrons seguem uma trajetória circular devido à combinação de campos magnéticos e elétricos. Esses campos são ajustados para manter os elétrons em uma órbita estável enquanto percorrem o anel. Ao circular em trajetórias curvas, os elétrons acelerados no anel emitem radiação síncrotron, que abrange desde o infravermelho até os raios-X. Essa luz síncrotron é a base para experimentos nas estações experimentais. Durante o percurso no anel, os elétrons são continuamente acelerados por meio de radiofrequência e ajustes magnetoestáticos. Esses ajustes garantem que os elétrons mantenham sua trajetória estável e aumentem gradualmente sua energia. Finalmente, os feixes de luz síncrotron gerados pelos elétrons são direcionados das trajetórias circulares do anel para as estações experimentais. Nessas estações, os feixes intensos de luz são utilizados para realizar uma variedade de experimentos em diversas disciplinas científicas.

Bobinas de Cobre: Representa a rede magnética do Sirius! A rede magnética no acelerador de partículas Sirius desempenha um papel crucial na manipulação e controle da trajetória dos elétrons durante seu percurso pelo anel de armazenamento síncrotron. Essa rede é composta por ímãs eletromagnéticos estrategicamente posicionados ao longo do anel. Algumas das suas principais funções é que os ímãs na rede magnética são projetados para criar campos magnéticos intensos. Esses campos são utilizados para focalizar os elétrons, mantendo-os em trajetórias circulares estáveis enquanto percorrem o anel. A estabilidade orbital dos elétrons é crucial para garantir a eficácia do acelerador. A rede magnética é ajustada para manter a órbita dos elétrons em uma configuração precisa e estável, evitando desvios indesejados. Durante a operação do acelerador, os ajustes dinâmicos são realizados na rede magnética para compensar variações e manter a trajetória dos elétrons dentro dos parâmetros desejados. Esses ajustes são essenciais para garantir a estabilidade do feixe. A rede magnética também é usada para corrigir eventuais erros orbitais que possam surgir durante o ciclo de aceleração. Esses erros podem ser causados por diferentes fatores, como imperfeições no campo magnético. Além de manter a trajetória correta, a rede magnética é projetada para filtrar energias indesejadas, assegurando que apenas os elétrons com a energia desejada continuem em suas órbitas, contribuindo para a qualidade do feixe.

Leds Brancos: Representa as partículas se movimentando no acelerador! No Sirius, essas partículas são os elétrons que foram escolhidos como as partículas para serem aceleradas por diversas razões. Uma das razões é que os elétrons possuem carga elétrica negativa, o que facilita a manipulação de sua trajetória utilizando campos magnéticos. Isso é fundamental para criar trajetórias circulares controladas no anel de armazenamento síncrotron. Elétrons acelerados e desviados por campos magnéticos em trajetórias curvas emitem radiação síncrotron. Essa radiação é uma luz intensa que abrange uma ampla gama de comprimentos de onda, desde o infravermelho até os raios-X. No Sirius, essa luz síncrotron é utilizada nas estações experimentais para diversas aplicações científicas. Os elétrons são partículas leves e, portanto, são mais fáceis de acelerar a altas velocidades em comparação com partículas mais massivas. Essa característica facilita a obtenção de energias elevadas, essenciais para muitos experimentos de pesquisa. Outra razão é que a utilização de elétrons permite experimentos de alta resolução, pois a carga elétrica precisa e constante dos elétrons facilita a medição precisa de propriedades, como energia e trajetória. A geração de luz síncrotron pelos elétrons em trajetórias curvas oferece uma ferramenta versátil para uma ampla variedade de aplicações científicas. Essa luz pode ser direcionada para várias estações experimentais, permitindo estudos em física, química, biologia e materiais. Em resumo, a escolha dos elétrons no acelerador de partículas Sirius é baseada em suas propriedades físicas, que oferecem vantagens significativas para a manipulação precisa e eficaz no contexto das pesquisas científicas realizadas nas estações experimentais do Sirius.

Leds vermelhos: Representa a luz síncrotron que chega nas estações experimentais! A luz síncrotron, como já mencionado anteriormente, é um tipo de radiação eletromagnética emitida por partículas carregadas, como elétrons, quando são aceleradas e desviadas por campos magnéticos em trajetórias curvas. Esse fenômeno ocorre em aceleradores de partículas síncrotrons, como o acelerador Sirius. As principais características da luz síncrotron é que cobre uma ampla faixa espectral, desde o infravermelho até os raios-X. Essa variedade de comprimentos de onda possibilita sua aplicação em diversas áreas científicas. Outra característica é que a luz síncrotron é extremamente intensa e brilhante, proporcionando uma fonte de radiação mais intensa do que aquelas produzidas por fontes convencionais. A polarização da luz síncrotron pode ser controlada, permitindo que os pesquisadores ajustem suas propriedades para atender às necessidades específicas de diferentes experimentos. Além disso, é amplamente utilizada em pesquisas nas áreas de física, química, biologia, materiais e ciências ambientais. Ela possibilita estudos detalhados da estrutura molecular, análise de materiais em nível atômico, investigação de processos bioquímicos e muito mais. No Sirius, ela destaca-se como uma ferramenta de pesquisa valiosa, proporcionando avanços significativos em diversas disciplinas científicas, impulsionando descobertas e inovações em nível molecular e atômico.

Caixas de acrílico transparente: Representa as estações experimentais! A explicação das estações experimentais se encontra na resolução da questão 4 desse material.

Plataforma Arduíno: Na maquete, utilizando a linguagem de programação baseada em C/C++, é usada para controlar o tempo e a forma com que os LEDs piscam, para simular o movimento dos elétrons no Sirius, funcionando como “cérebro eletrônico” através de um código específico que faz o aparato funcionar. Seu código é aberto, o que significa que seu hardware e software estão disponíveis para que as pessoas possam estudar, modificar e compartilhar. Isso contribui para uma comunidade colaborativa e em constante evolução.

Potenciômetro: O potenciômetro na maquete, articulado com o Arduino e os LEDs para simular o movimento dos elétrons, desempenha um papel importante no controle variável da intensidade da luz. Ele atua como um dispositivo de controle variável que permite ajustar a resistência elétrica em um circuito. No contexto da maquete, ele está conectado ao Arduino e aos LEDs que simulam o movimento dos elétrons. O movimento dos elétrons em um acelerador de partículas está diretamente relacionado à sua energia. Ajustar a resistência do potenciômetro pode ser interpretado como uma representação simbólica do ajuste da energia dos elétrons no acelerador. Ao girar o potenciômetro, os valores de resistência variam, alterando a corrente que flui pelos LEDs. Essa variação na corrente resulta em uma mudança na intensidade da luz emitida, proporcionando uma simulação dinâmica do movimento dos elétrons.

O potenciômetro adiciona um elemento de interatividade à maquete. Os estudantes podem ajustar manualmente a intensidade da luz, proporcionando uma experiência mais envolvente e educativa ao explorar como as mudanças na energia dos elétrons afetam a emissão de luz síncrotron. Além disso, oferece controle analógico, permitindo ajustes suaves e contínuos na intensidade da luz. Isso contrasta com um controle digital que teria apenas configurações discretas. Em resumo, o potenciômetro na maquete do acelerador de partículas Sirius com LEDs e Arduino desempenha a função de permitir aos usuários controlar a intensidade da luz emitida pelos LEDs, proporcionando uma representação interativa e visual do ajuste da energia dos elétrons no acelerador.

2º) Por que o tubo do acelerador tem o formato circular?

O formato circular do tubo do acelerador de partículas é uma escolha fundamentada em princípios físicos e práticos. Primeiramente, a trajetória circular das partículas carregadas no interior do tubo é influenciada pela aplicação de um campo magnético perpendicular ao movimento das partículas. Esse campo magnético força as partículas a seguir uma trajetória circular devido à força de Lorentz. Além disso, a utilização de um anel circular permite a repetição contínua do processo de aceleração. À medida que as partículas circulam, elas podem ser submetidas a impulsos adicionais de energia, aumentando assim a sua velocidade. Esse método é especialmente eficaz para alcançar energias extremamente elevadas, essenciais em experimentos de física de partículas.

A forma circular também facilita a construção de aceleradores de partículas de grande escala. A estrutura circular permite distribuir a aceleração ao longo de um caminho fechado, otimizando o espaço disponível e minimizando a necessidade de componentes retos de grande comprimento. Em resumo, a escolha do formato circular para o tubo do acelerador de partículas é uma combinação de considerações práticas, eficiência energética e aplicação dos princípios fundamentais da física de partículas.

3º) Qual é o componente responsável por aumentar a velocidade da partícula?

O Acelerador de Partículas Sirius, localizado no Brasil, utiliza um componente crucial chamado anel de armazenamento síncrotron para aumentar a velocidade das partículas. O síncrotron é um tipo de acelerador circular que emprega campos magnéticos intensos para guiar partículas carregadas, como elétrons, em uma trajetória circular.

O processo começa com a injeção de elétrons no anel de armazenamento. Estes elétrons são então submetidos a um campo magnético radial e a um campo elétrico oscilante. O campo magnético age como uma força centrípeta, fazendo com que os elétrons sigam uma trajetória

circular. Simultaneamente, o campo elétrico oscilante fornece energia aos elétrons em momentos específicos do ciclo, aumentando gradualmente sua velocidade.

A principal característica do Sirius é seu design avançado, conhecido como anel de armazenamento síncrotron de última geração. Esse anel é projetado para manter os elétrons em órbita estável enquanto são continuamente acelerados. Magnetoestáticos e rádio-frequência são usados para ajustar a trajetória e a energia dos elétrons.

É importante notar que o aumento da velocidade das partículas no Sirius não ocorre de uma só vez, mas é um processo contínuo à medida que os elétrons circulam repetidamente pelo anel, sendo acelerados em cada volta. Esse acelerador de última geração é crucial para diversas aplicações científicas, como estudos em nanotecnologia, materiais avançados, biologia estrutural e outras áreas de pesquisa que exigem feixes intensos de luz síncrotron.

4º) O que seria essas cabines no final do tubo que percorre a luz e para que serve?

São as estações experimentais do Sirius! Essas estações desempenham um papel crucial ao possibilitar uma variedade de experimentos em diversas áreas científicas. O Sirius, localizado no Brasil, é um acelerador síncrotron de última geração que gera feixes intensos de luz síncrotron ao acelerar elétrons em um anel de armazenamento síncrotron. São espaços dedicados onde os feixes de luz síncrotron são direcionados para conduzir experimentos em disciplinas como física, química, biologia, e materiais. Equipadas com instrumentação especializada, cada estação é adaptada para atender às necessidades específicas de diferentes tipos de experimentos. Isso inclui detectores de alta resolução, câmeras especializadas, espectrômetros e difratômetros, entre outros dispositivos.

As aplicações nas estações experimentais do Sirius são multidisciplinares. Elas permitem a análise da estrutura atômica e molecular de materiais, o estudo da dinâmica de reações químicas, a investigação de processos biológicos em nível molecular, além da análise de propriedades magnéticas e eletrônicas de materiais. O ambiente colaborativo nas estações experimentais é notável, atraindo pesquisadores de diferentes instituições e campos científicos. A potência do feixe de luz síncrotron oferece técnicas avançadas e equipamentos de última geração, estimulando a colaboração científica e contribuindo para avanços significativos em diversas áreas do conhecimento. Em resumo, as estações experimentais no acelerador de partículas Sirius representam centros de pesquisa avançada que desempenham um papel vital na realização de experimentos inovadores, impulsionando os limites do conhecimento científico em uma variedade de disciplinas.

APÊNDICE G

MAQUETE EDUCACIONAL

Analogia Funcional do Acelerador de Partículas Brasileiro Sirius

(Construção do Aparato)



Rubens Antônio da Silva
Helaine Sivini Ferreira

Novembro de 2023



UNIVERSIDADE
FEDERAL RURAL
DE PERNAMBUCO



Sumário

Algumas Palavras	2
Materiais Necessários	3
Montagem Experimental	5
Instalação e Configuração do Arduino	9
Programação do Arduino (Código Fonte)	10
Testes e Ajustes	12
Solução de Possíveis Problemas	12
Detalhes Estéticos	12

Algumas Palavras Iniciais

Para a construção do aparato experimental, o professor necessita de habilidades mínimas com ferramentas como serra, furadeira, ferro de solda, alicate e chaves em geral, além de um pouco de conhecimento sobre programação e eletrônica básica. Esta consideração inicial não tem o propósito de desencorajar professores com conhecimentos limitados nessas áreas, mas sim de alertá-los para que leiam atentamente este manual ou busquem a orientação de um profissional capacitado.

Procuramos elaborar as orientações de forma clara e objetiva, permitindo que qualquer docente possa segui-las e obter êxito em seus trabalhos. Também produzimos um vídeo abrangente que detalha a maquete, seu funcionamento e o processo de montagem, utilizando recursos de baixo custo. O vídeo está disponível no seguinte link:

https://youtu.be/Xb6pQHW1NKQ?si=L8SxhUk5eOMOYBJ_

Materiais Necessários

A seguir, apresentamos o orçamento contendo a lista de materiais, o quantitativo, as especificações e o levantamento de preço para a construção da maquete do acelerador de partículas Sirius.

Itens	Descrição	Valor Unitário	Unidade	Quantidade	Subtotal
1	Placa de MDF 60x60x10cm	R\$ 20,00	Uni	1	R\$ 20,00
2	Placa de MDF 20x10x3cm	R\$ 7,00	Uni	1	R\$ 7,00
3	Fórmica para Madeira Branca 70x70cm	R\$ 25,00	m ²	1	R\$ 25,00
4	Cola Contato para Fórmica 200g	R\$ 9,25	Uni	1	R\$ 9,25
5	Cabo de Vassoura	R\$ 4,00	Uni	1	R\$ 4,00
6	Emborrachado Verde 40x60cm	R\$ 2,60	Uni	1	R\$ 2,60
7	Emborrachado Preto 40x60cm	R\$ 2,60	Uni	1	R\$ 2,60
8	Emborrachado Laranja 40x60cm	R\$ 2,60	Uni	1	R\$ 2,60
9	Fita Adesiva Amarela 12mmx3m	R\$ 3,10	Uni	1	R\$ 3,10
10	Fita Adesiva Azul 12mmx3m	R\$ 3,10	Uni	1	R\$ 3,10
11	Fita Adesiva Preta 12mmx3m	R\$ 3,10	Uni	1	R\$ 3,10
12	Caixinha de Acrílico 4x4cm Transparente	R\$ 1,50	Uni	6	R\$ 9,00
13	Dobradiça Galvanizado 4x5cm	R\$ 2,00	Uni	2	R\$ 4,00
14	Trinco Porta Cadeado	R\$ 3,80	Uni	1	R\$ 3,80
15	Parafuso Cabeça Plana 3,5x14mm	R\$ 0,30	Uni	17	R\$ 5,00
16	Cola Silicone Transparente	R\$ 8,90	Uni	1	R\$ 8,90
17	Papel Adesivo Branco A4	R\$ 1,00	Uni	4	R\$ 4,00
18	Mangueira de Plástico PVC 1/4	R\$ 1,50	m	10	R\$ 15,00
19	Placa de Arduino Uno R3	R\$ 53,00	Uni	2	R\$ 106,00
20	Cabo USB (Tipo A para Tipo B)	R\$ 16,00	Uni	2	R\$ 32,00
21	Leds RGB Vermelhos 5mm 2 Terminais	R\$ 0,50	Uni	6	R\$ 3,00
22	Leds RGB Brancos 5mm 2 Terminais	R\$ 0,50	Uni	60	R\$ 30,00
23	Potenciometro Linear 10K	R\$ 2,45	Uni	2	R\$ 8,90
24	Fio condutor de 0,5 mm	R\$ 1,35	m	50	R\$ 67,50
Total					R\$ 379,45

Para criar a maquete do Sirius, é necessário adquirir diversos materiais. Incluem-se placas de MDF de diferentes tamanhos para a base e a caixa onde ficará os Arduinos, fórmica branca para revestir superfícies, cola de contato para fixação, e pedaços de cabos de vassoura para apoiar a estrutura.

Além disso, utiliza-se emborrachado verde, preto e laranja para representar elementos distintos, fitas adesivas coloridas para detalhes, e caixinhas de acrílico transparente para simular as estações experimentais. Dobradiças galvanizadas e trinco porta cadeado adicionam elementos móveis de proteção e segurança à maquete.

A montagem é complementada com parafusos, cola de silicone transparente, papel adesivo branco A4 para acabamentos, e mangueiras de plástico PVC para representar tubulações. Componentes eletrônicos, como placas de Arduino Uno R3, cabos USB, LEDs RGB vermelhos e brancos, potenciômetros lineares, e fios condutores, proporcionam uma dimensão eletrônica à maquete. Com esses materiais, a maquete do Sirius ganha detalhes realistas e representa fielmente o acelerador de partículas.

Esses materiais podem ser encontrados em diversos estabelecimentos. Lojas de materiais de construção geralmente oferecem placas de MDF, fórmica, cola de contato, cabos de vassoura e fitas adesivas. Emborrachados coloridos podem ser adquiridos em papelarias ou lojas especializadas em artigos para artesanato. Caixinhas de acrílico transparente, dobradiças galvanizadas, trincos para cadeados e parafusos podem ser encontrados em lojas de ferragens.

Já os componentes eletrônicos, como placas de Arduino Uno R3, cabos USB, LEDs RGB, potenciômetros e fios condutores, estão disponíveis em lojas especializadas em eletrônica ou podem ser adquiridos online em sites dedicados a componentes eletrônicos. Mangueiras de plástico PVC podem ser encontradas em lojas de material hidráulico. Para o papel adesivo branco A4, uma papelaria seria o local adequado. É possível reunir os materiais tanto em estabelecimentos físicos quanto online, dependendo da disponibilidade e conveniência para o comprador.

É importante notar que os valores mencionados para os materiais da maquete podem variar de local para local e ao longo do tempo. Os preços geralmente são influenciados por fatores como localização geográfica, disponibilidade local de produtos e flutuações econômicas.

Além disso, os valores podem sofrer alterações conforme políticas de preços das lojas ou devido a promoções e descontos sazonais. Recomenda-se verificar os preços atualizados ao realizar as compras, seja em lojas físicas ou online, para garantir informações precisas e adequadas ao orçamento disponível.

Dessa forma, é sempre prudente pesquisar e comparar preços em diferentes estabelecimentos para garantir a obtenção dos materiais necessários de maneira mais econômica e conveniente. Também é importante mencionar alguns cuidados para garantir uma compra

eficiente e satisfatória. Primeiramente, verifique a qualidade das placas de MDF, assegurando-se de que estão livres de imperfeições que possam comprometer a estrutura da maquete.

Ao escolher a fórmica branca, certifique-se de que seja adequada para madeira e que tenha dimensões suficientes para cobrir as superfícies desejadas. Na compra de emborrachados coloridos, verifique se estão em boas condições e se atendem às dimensões necessárias para representar os elementos desejados.

Ao adquirir componentes eletrônicos, como placas de Arduino, LEDs e potenciômetros, certifique-se de que são compatíveis entre si e atendem aos requisitos do projeto da maquete. Verifique também a procedência e a reputação do fornecedor ao comprar online.

Para itens como dobradiças, trincos e parafusos, verifique a resistência e a durabilidade, pois esses elementos podem influenciar diretamente na integridade da maquete. E, por fim, ao comprar mangueiras de plástico PVC, certifique-se de que são do diâmetro adequado e que não apresentam danos.

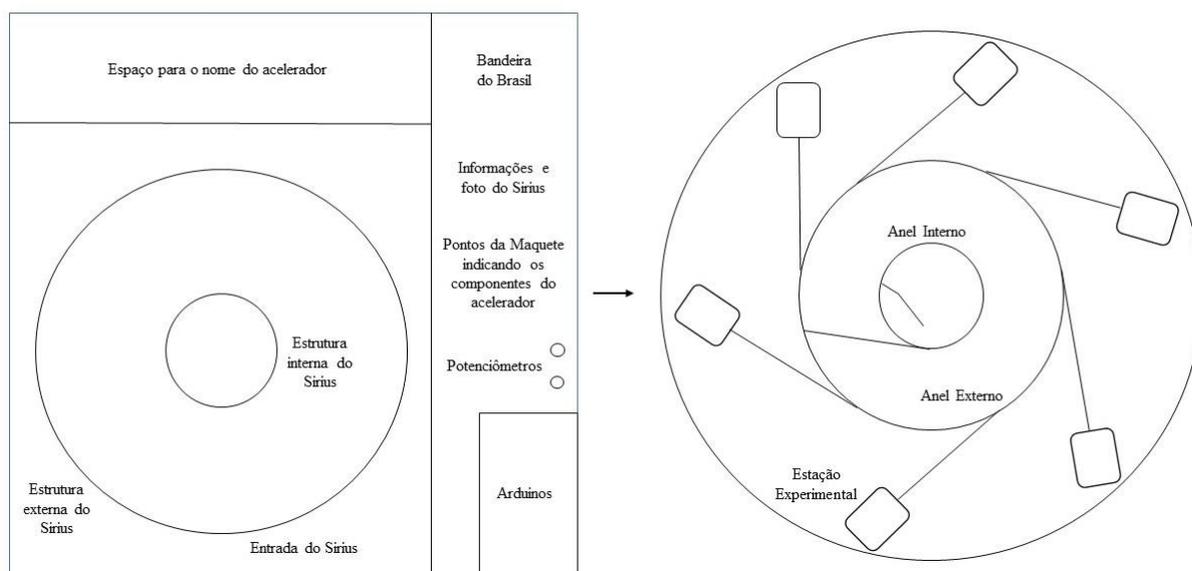
Em resumo, ao adquirir os materiais, atenção à qualidade, compatibilidade e procedência é essencial para assegurar uma construção sólida e fiel à representação do acelerador de partículas Sirius.

Montagem Experimental

Ao iniciar a montagem do aparato, é crucial estruturar um planejamento de etapas que colabore com a organização e a segurança do processo. Uma organização adequada permite o uso eficiente do tempo, materiais e equipamentos, otimizando o processo da montagem. A seguir estruturamos os passos necessários para a construção da maquete.

Passo 1: Materiais - Reúna todos materiais descritos anteriormente antes de iniciar a montagem; Essa ação é importante porque promove uma execução mais eficiente do projeto, pois evita interrupções frequentes para procurar ou adquirir materiais adicionais. Isso se traduz em economia de tempo, otimizando-o o tempo dedicado à construção da maquete e permitindo um fluxo de trabalho mais contínuo, além de facilitar o planejamento de segurança, permitindo antecipar e abordar quaisquer preocupações relacionadas aos materiais e ter uma maior probabilidade de alcançar uma qualidade final mais consistente e satisfatória.

Passo 2: Desenho da Maquete - Desenhe o layout da maquete no papelão, considerando espaços para o Arduino, LED e trilhas que representarão as partículas. Planeje a disposição dos componentes eletrônicos.



Esse desenho prévio em um papelão permite uma visualização clara e detalhada do projeto, proporcionando uma oportunidade para aprimorar ideias e ajustar o design antes da implementação. O desenho serve como um guia visual, ajudando a organizar a disposição dos componentes, definir proporções e antecipar desafios potenciais.

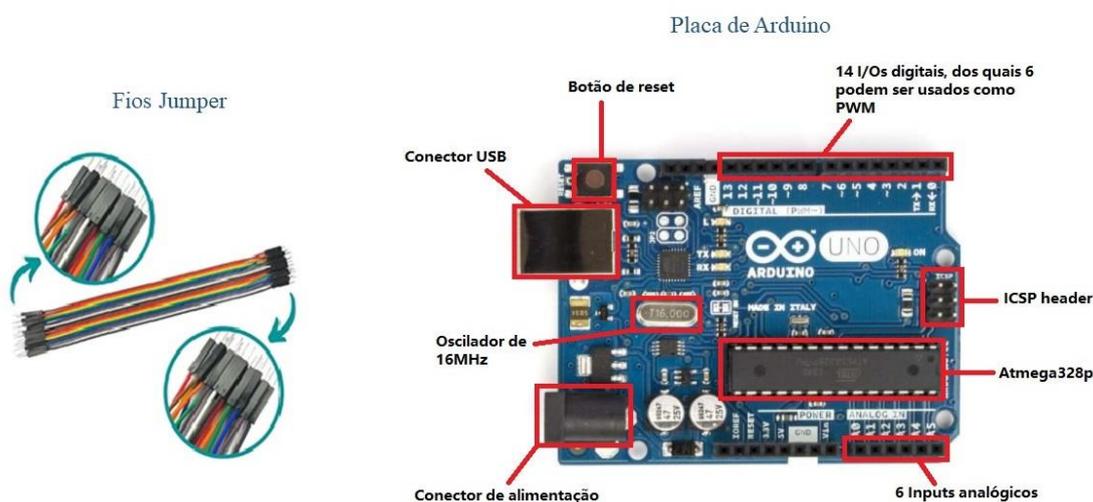
Além disso, o desenho prévio contribui para a eficiência na utilização de materiais, evita retrabalho durante a montagem e facilita a comunicação das ideias. Essa etapa de planejamento não apenas aprimora a qualidade estética da maquete, mas também é essencial para o sucesso geral do projeto, proporcionando uma base sólida para uma construção mais eficaz e satisfatória.

Passo 3: Montagem da Estrutura – Corte e modele o papelão conforme o layout planejado. Certifique-se de criar espaços para encaixar o Arduino e outros componentes.

Passo 4: Montagem do Circuito – Conecte o LED ao Arduino usando fios condutores. Use fios jumper para ligar cada componente ao Arduino. Se preferir, consulte esquemas elétricos Arduino para garantir a correta conexão.

Os fios Jumper apresentam uma série de vantagens notáveis na construção de circuitos elétricos com Arduino. Sua principal característica é a facilidade de conexão, proporcionando uma ligação rápida e descomplicada entre os componentes do circuito e a placa Arduino. Além disso, sua versatilidade se destaca, permitindo uma abordagem modular na montagem do circuito, com a capacidade de desconectar e reconectar os fios com facilidade.

Outra vantagem é a minimização de erros. Os conectores específicos para os pinos da placa Arduino e dos componentes reduzem consideravelmente a chance de conexões equivocadas.



No Arduino, o microcontrolador ATmega328P é o cérebro do Arduino que executa o código que é recebido. As portas digitais são pinos que podem ser usados como entrada ou saída digital para conectar dispositivos externos. Os inputs analógicos servem para leitura de sinais analógicos, úteis para sensores que geram sinais variáveis. O conector de alimentação fornecer energia ao Arduino. O conector USB é usado para carregar o código no Arduino e para comunicação serial e o botão de reset reinicia o programa em execução.

Essas são apenas algumas das partes principais. O Arduino Uno é versátil e pode ser expandido com diversos módulos e sensores para atender às necessidades do seu projeto. Para conectar LEDs e um potenciômetro ao Arduino, você pode seguir os passos abaixo:

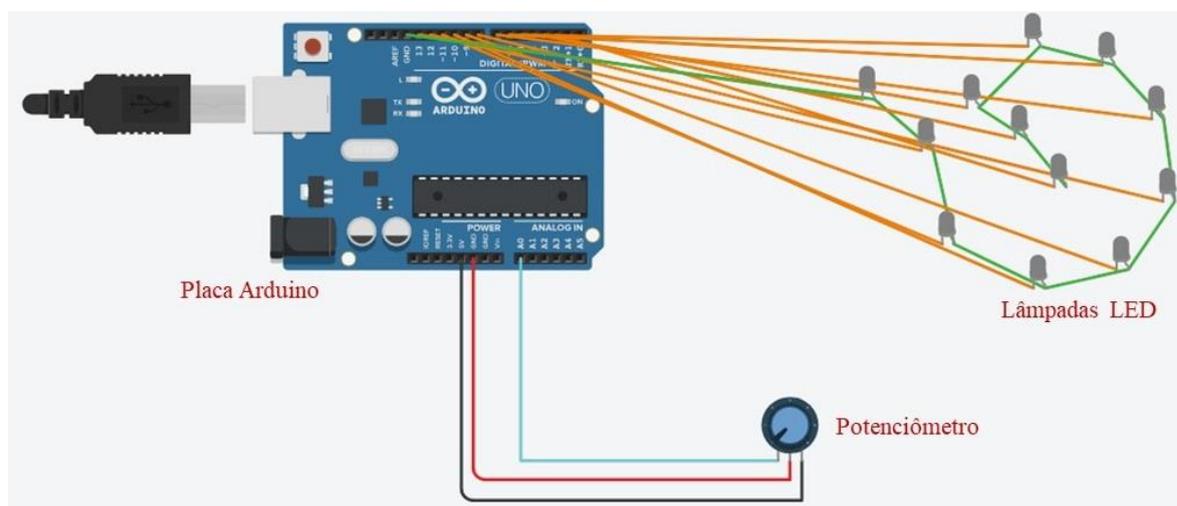
1. Conectar os LEDs ao Arduino:

- Conecte o anodo (o terminal mais longo) do LED a uma porta digital do Arduino.
- Conecte o catodo a um dos pinos GND (terra) do Arduino.

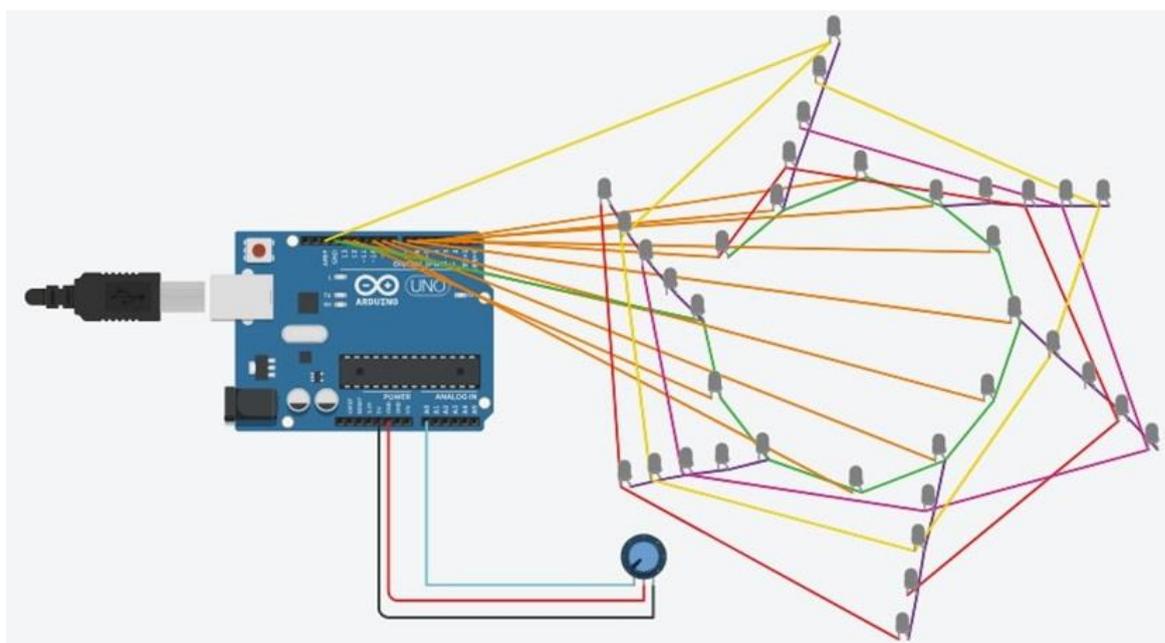
2. Conectar Potenciômetro ao Arduino:

- Conecte o pino central do potenciômetro (wiper) a uma porta analógica do Arduino (por exemplo, A0).
- Conecte um dos pinos do potenciômetro ao pino 5V do Arduino.
- Conecte o outro pino do potenciômetro ao GND do Arduino.

Anel Interno – Arduino 1



Anel Externo – Arduino 2



Passo 5: Instalação e Configuração do Arduino - A instalação e configuração do Arduino envolvem alguns passos básicos. Certifique-se de que você tenha um Arduino e um cabo USB para conectá-lo ao seu computador.

Baixe e instale o Arduino IDE

- Acesse o site oficial do Arduino em <https://www.arduino.cc/en/software>.
- Baixe a versão mais recente do Arduino IDE para o seu sistema operacional (Windows, macOS ou Linux).
- Após o download, siga as instruções de instalação do programa. Isso geralmente envolve executar um instalador e seguir as etapas simples.

Conecte o Arduino ao seu computador

- Conecte o Arduino ao seu computador usando um cabo USB.

Abra o Arduino IDE e Configure a Placa

- Abra o Arduino IDE que você instalou.
- Vá para "Ferramentas" (Tools) no menu principal.
- Selecione "Placa" (Board) e escolha o modelo de Arduino que você está usando. Nesse caso, "Arduino Uno".
- Em "Porta" (Port), selecione a porta USB à qual o Arduino está conectado. Essa porta deve ser automaticamente detectada, mas, se não for, você pode verificar em qual porta seu Arduino está conectado no Gerenciador de Dispositivos (no caso do Windows) ou no Terminal (no caso do Linux).

Verifique e Carregue um Programa de Exemplo

- Para verificar se tudo está funcionando corretamente, você pode abrir um exemplo de programa. Vá para "Arquivo" (File) > "Exemplos" (Examples) e escolha um programa de exemplo, como "Blink" (um programa que faz o LED embutido do Arduino piscar).
- Clique no botão de verificação (ícone de "check mark") na parte superior da janela do Arduino IDE para verificar o código. Certifique-se de que não haja erros.
- Se não houver erros, clique no botão de upload (seta para a direita) para carregar o programa no Arduino.
- O Arduino IDE compilará o código e o enviará para o Arduino. Você verá mensagens de status na parte inferior da janela.
- Após a conclusão do processo de upload, o programa será executado no Arduino, e você verá o LED embutido piscar (no caso do programa "Blink").

Isso conclui a instalação e configuração básica do Arduino.

Programação do Arduino

- Escreva o código abaixo, do controle dos LEDs, no software do Arduino para variar a intensidade luminosa, o que irá simular o movimento das partículas.

```

*DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS:
const byte leds[12] = {2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13};
const byte POTENCIOMETRO = A0;
unsigned int valorPotenciometro;

*CONFIGURAÇÃO INICIAL NO SETUP:
void setup() {

  for(int i = 0; i < 12; i++){
    pinMode(leds[i], OUTPUT);
    pinMode(POTENCIOMETRO, INPUT);
  }

  *ACENDER TODOS OS LEDS INICIALMENTE:
  }

  for (int i = 0; i < 12; i++){
    digitalWrite(leds[i], HIGH);
    pinMode(POTENCIOMETRO, INPUT);
  }
}

*LOOP PRINCIPAL - PISCAR LEDS:
void loop () {

  for (int i = 0; i < 12; i++){
    valorPotenciometro = analogRead(POTENCIOMETRO);
    digitalWrite(leds[i], HIGH);
    delay(valorPotenciometro);

    for (int i = 0; i < 12; i++){
      digitalWrite(leds[i], LOW);
      delay(2);
    }
  }
}

```

*Declaração de Variáveis:

- Aqui, são declarados os pinos dos LEDs e do potenciômetro, bem como a variável para armazenar o valor lido do potenciômetro.

*Configuração Inicial no Setup:

- Configura os pinos dos LEDs como saídas e o pino do potenciômetro como entrada. Isso é feito no setup () para garantir que seja executado apenas uma vez no início do programa.

*Acender Todos os LEDS Inicialmente:

- Inicialmente, todos os LEDs são acesos.

*Loop Principal – Piscar LEDs:

- Entra no loop principal;
- Lê o valor do potenciômetro;
- Itera sobre os LEDs, acendendo cada um deles por um período de tempo determinado pelo valor do potenciômetro;
- Apaga o LED atual e aguarda um pequeno atraso antes de acender o próximo.

Essencialmente, este código cria uma sequência de piscar dos LEDs, onde a velocidade do piscar é controlada pelo potenciômetro. Quanto maior o valor lido do potenciômetro, maior o tempo que cada LED permanece aceso. O pequeno atraso entre apagar um LED e acender o próximo é introduzido para tornar a sequência mais visível, o que simula o movimento dos elétrons do acelerador Sirius.

Para conectar o Arduino ao notebook envolve alguns passos simples:

- 1. Cabo USB:** Use um cabo USB para conectar a porta USB do Arduino à porta USB do notebook.
- 2. Drivers (se necessário):** Se for a primeira vez que você está conectando o Arduino ao notebook, pode ser necessário instalar os drivers. Geralmente, o Arduino Uno não requer drivers adicionais em sistemas operacionais como Windows e macOS, pois eles são reconhecidos automaticamente.
- 3. Identificação da Porta COM:** Após conectar o Arduino, abra a IDE do Arduino no seu notebook. Vá para "Ferramentas" > "Porta" e selecione a porta COM à qual o Arduino está conectado. No Windows, geralmente é algo como "COMx", e no macOS/Linux, pode ser `"/dev/ttyUSBx"` ou `"/dev/ttyACMx"`.
- 4. Carregar um Programa de Exemplo:** Para garantir que a comunicação está funcionando, você pode carregar um programa de exemplo. Por exemplo, abra o exemplo "Blink" na IDE do Arduino, e clique em "Carregar" (ícone de seta para a direita).
- 5. Verificação da Comunicação:** Se tudo estiver configurado corretamente, o LED no Arduino deve começar a piscar conforme programado no exemplo "Blink".

Lembre-se de que a disponibilidade de portas pode variar dependendo do sistema operacional. Se você encontrar problemas, verifique os drivers, a seleção da porta COM e se o cabo USB está funcionando corretamente.

Passo 6: Testes Iniciais – Carregue o código no Arduino e faça os testes para garantir que o LED acenda conforme o esperado. Ajuste o código e a conexão dos componentes conforme necessário. Esse teste inicial é fundamental para identificar e corrigir possíveis problemas, economizando tempo e recursos, confirma a funcionalidade da maquete e adapta o aparato a condições reais.

Alguns problemas podem contribuir para o mau funcionamento do aparato e, conseqüentemente, das análises e investigações durante a atividade. Eles podem estar relacionados a parte estrutural ou durante o seu manuseio. Dessa forma, serão elencados, a seguir, os problemas mais comuns com suas respectivas soluções. Caso o problema não esteja referenciado aqui, entre em contato (rubens.2006@hotmail.com) para mais informações.

Possível Problema	Causa Provável	Solução
LEDs não acendendo	Má conexão	Verifique se os LEDs estão conectados corretamente, respeitando a polaridade. Confirme se os resistores estão nas posições corretas e têm o valor adequado para limitar a corrente.
Sequência de LEDs não funciona	Pinos da Placa do Arduino	Verifique se os pinos da placa do Arduino estão corretamente associados aos LEDs no código. Certifique-se de que os pinos estejam configurados corretamente como saída do código.
LEDs piscando irregularmente	Código e os atrasos (delays)	Revise o código e os atrasos (delays) para garantir que estejam configurados corretamente.
Problemas de Conexão	Fios não estão firmes	Certifique-se de que todos os fios jumper estão firmemente conectados ao Arduino e aos outros fios.
Problemas de Alimentação	Tensão de Alimentação	Garanta que a placa Arduino esteja alimentada corretamente. Verifique se a tensão de alimentação está de acordo com as especificações da placa.
Código com erros de Sintaxe	Falta de caracteres	Revise o código em busca de erros de sintaxe, como parênteses ausentes, ponto e vírgula faltante, etc. Verifique se os nomes dos pinos no código correspondem aos pinos físicos conectados.
Problemas na IDE do Arduino	Porta mal selecionada	Certifique-se de estar usando a porta serial correta e que a placa Arduino está selecionada corretamente na IDE. Reinicie a IDE ou o Arduino se encontrar problemas inesperados.
Problemas Físicos	Fios soltos	Verifique se não há curtos-circuitos ou fios soltos. Inspeccione visualmente todos os componentes e conexões.

Passo 7: Detalhes Estéticos – Ao considerar os detalhes estéticos da maquete do acelerador de partículas Sirius, é fundamental focar em alguns aspectos para garantir uma representação visual precisa e atraente. Aqui estão alguns cuidados a serem observados:

Precisão na Representação

- Garanta que a maquete represente fielmente a estrutura do Sirius, incluindo a disposição correta dos componentes, como os tubos, as estações experimentais, os ímãs e o formato do acelerado.

Acabamento e Detalhes Realistas

- Dedique atenção ao acabamento da maquete, buscando detalhes realistas nas superfícies e nos componentes. Decore a maquete usando tintas, fitas, emborrachados, folha de fórmica e outros materiais para representar visualmente as partículas e demais detalhes do Sirius. Isso tornará a maquete mais educativa e atrativa.

Cores Autênticas

- Utilize cores autênticas e representativas dos materiais utilizados no acelerador de partículas Sirius, como emborrachado verde, para representar a área de vegetação ao redor do acelerador, a fórmica branca, para representar a parte interna, etc. Isso contribuirá para uma representação mais precisa e profissional.

Sinalização e Identificação

- Inclua sinalizações e identificações apropriadas nos diferentes componentes da maquete. Isso pode envolver a criação de placas informativas ou etiquetas para destacar partes específicas do acelerador.

Limpeza e Organização

- Mantenha a maquete limpa e organizada. Remova quaisquer vestígios de cola ou marcas indesejadas, e assegure-se de que todos os elementos estejam dispostos de maneira ordenada e esteticamente agradável.

Proporções Adequadas

- Certifique-se de que as proporções entre os diferentes componentes da maquete estejam corretas. Isso é crucial para uma representação fiel do acelerador de partículas.

Atualizações Periódicas

- Se houver modificações no design ou estrutura real do acelerador de partículas Sirius, considere fazer as atualizações na maquete para refletir essas mudanças.

Ao dedicar atenção a esses cuidados nos detalhes estéticos, a maquete do acelerador de partículas Sirius não apenas será visualmente impressionante, mas também fornecerá uma representação educativa e precisa do projeto real.

Passo 8: Ajustes Finais – Realize ajustes finais no código e na estrutura da maquete. Certifique-se que tudo esteja seguro e funcionando.

APÊNDICE H

Sistematização do Conhecimento (2ª Etapa da SEI)

Aceleradores de Partículas

São máquinas capazes de aumentar a velocidade de uma partícula (átomos, prótons ou elétrons) por meio da aplicação de campos elétricos e magnéticos. As partículas são confinadas em tubos estreitos e são aceleradas até uma velocidade próxima a da luz ($v_{luz} = 3 \cdot 10^5$ km/s). Esses campos também são responsáveis pelo controle da trajetória da partícula (observar a maquete de analogia funcional de um acelerador de partícula moderno).

Exemplos comuns de aceleradores de partículas do dia a dia são os televisores de projeção traseira (antigos televisores de tubo) e os equipamentos geradores de raios X. Aceleradores também são usados na produção de isótopos radioativos, na radioterapia do câncer, na radiografia de alta potência para uso industrial e na polimerização de plásticos.

Existem vários aceleradores espalhados em vários países. A seguir, destacamos alguns desses aceleradores.

Acelerador	País	Descrição
FERMILAB	Estados Unidos	Inaugurado em 1967
ESRF	França	Inaugurado em 1994
CLS	Canadá	Inaugurado em 2004
LHC	Suíça	Inaugurado em 2008
Sirius	Brasil	Inaugurado em 2020

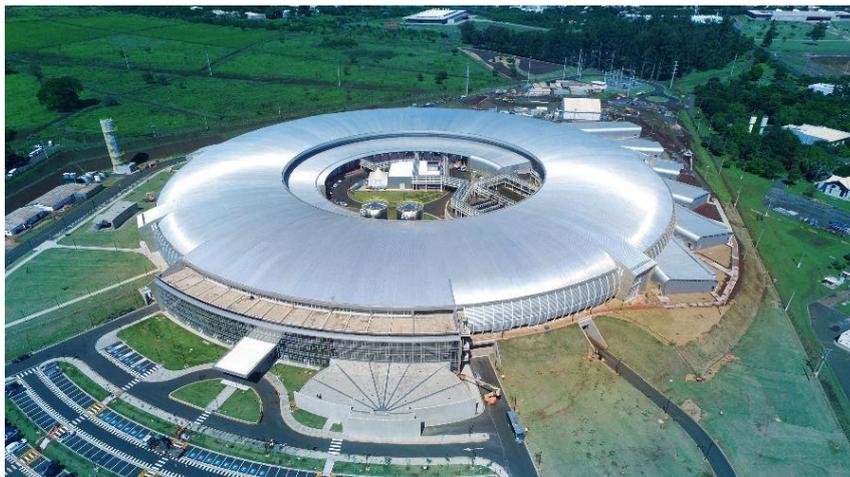
Também são usados para investigação científica e para a produção da luz síncrotron. A radiação síncrotron é o nome que se dá às ondas eletromagnéticas emitidas pelas partículas que se movem no anel circular de um acelerador de partículas. A radiação é emitida por partículas aceleradas, desse modo, alguns aceleradores de partículas conseguem produzir diferentes “linhas de luz” — raios x, raios gama e quaisquer frequências desejadas. Essas radiações são utilizadas para os mais diversos fins: análise estrutural de materiais, tratamentos oncológicos, exames de imagem, etc.

Aceleradores de Partículas do Brasil

O Brasil possui um grande acelerador de partículas no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), o acelerador Sirius (Figura 1), uma das mais modernas fontes de luz

síncroton de 4^a geração do mundo. O novo acelerador de partículas atende a diversos propósitos, como pesquisas acadêmicas relacionadas à energia, ao meio ambiente, à defesa, às indústrias, à saúde etc (Helerbrock, 2022).

Acelerador de partícula Sirius.



Fonte: CNPEM, 2018.

Iniciada em 2012, a construção teve o custo estimado em R\$ 2 bilhões, pagos pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) e é considerado “o maior projeto da ciência brasileira” e é a “maior e mais complexa estrutura de pesquisa do País” (Rosa, 2018). A equipe que construiria o LCLS começou a ser formada em 1986, liderada pelo diretor do LCLS, Cylon Gonçalves da Silva e pelo diretor técnico, Ricardo Rodrigues, responsável pelo projeto de engenharia da máquina, e pelo diretor científico Aldo Craievich, responsável pela mobilização da comunidade científica e formação dos primeiros usuários.

Instalado no campus do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), em Campinas, interior de São Paulo, o Sirius, cujo nome tem inspiração na estrela mais brilhante da constelação de Canis Major e é a estrela mais brilhante do céu noturno (Parker, 2013), ocupa um prédio em forma de donut de 68 mil metros quadrados, com temperatura controlada e erguido sobre uma espessa base de um concreto especial para absorver vibrações do solo (Zorzeto, 2020).

Em seu interior, um feixe de partículas de carga elétrica negativa (elétrons), com espessura milhares de vezes menor que a de um fio de cabelo, é gerada e mantida em movimento em um anel circular de 518 metros de circunferência. A seguir (Figura 2), é possível observar a estrutura interna do Sirius, com seus principais elementos e função de cada um deles.

Estrutura interna do Sirius.

UM TIPO ESPECIAL DE LUZ

Sirius será uma das mais brilhantes fontes de radiação síncrotron do mundo.

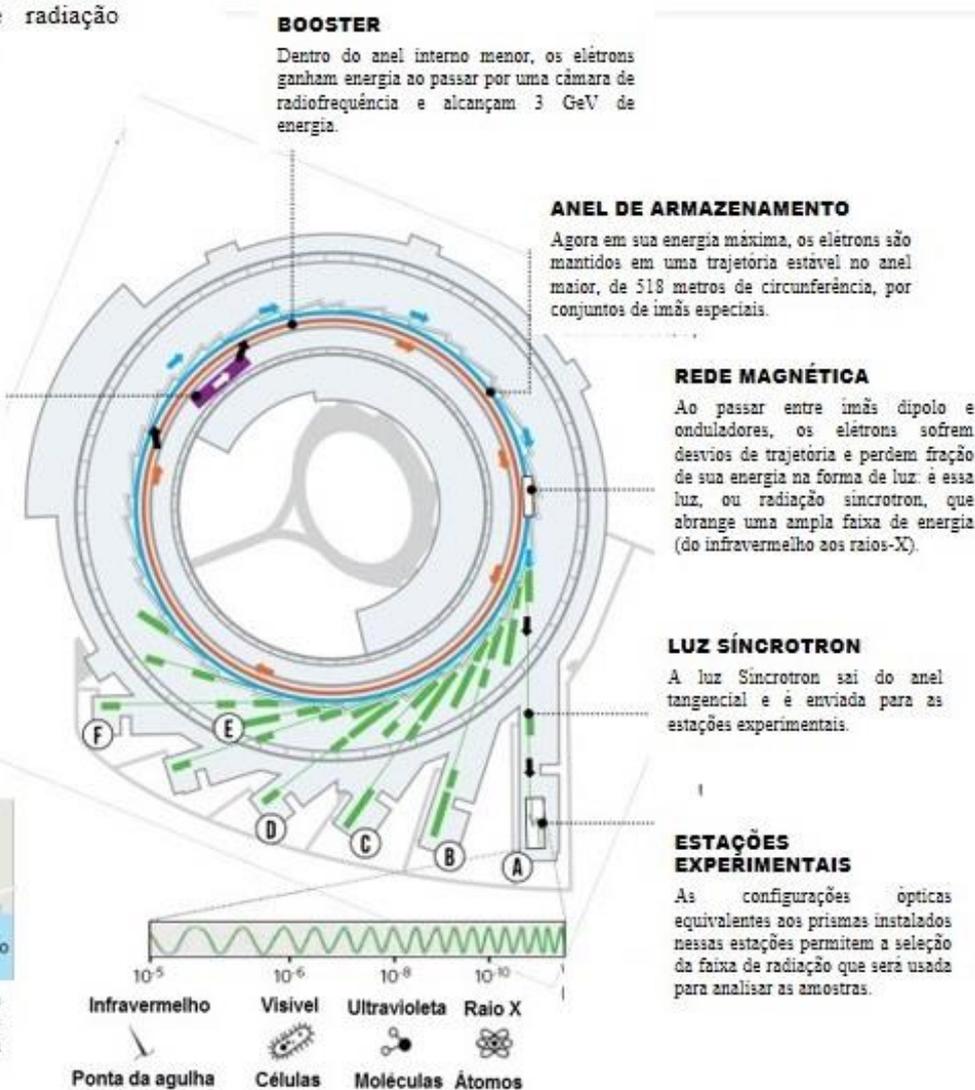
I

ACELERADOR LINEAR

Elétrons liberado por um filamento de metal aquecido são impulsionados em um acelerador linear de 32 metros de comprimento para quase a velocidade da luz, com 0,15 giga-elétron volts (GeV) de energia e injetados no anel interno.



O Sirius está localizado aproximadamente a 15 quilômetros ao norte da cidade de Campinas.



Fonte: LNLS / CNPEM, 2018.

O acelerador Sirius é capaz de produzir linhas de luz bilhões de vezes mais intensas que as produzidas pelo UVX, antigo acelerador de partículas brasileiro, inaugurado em 1997 e encerrado em 2019.

Atividade – Glossário

Na tabela fornecida, defina alguns dos termos usados nos materiais impressos de contextualização e aprofundamento.

Termos	Definição
Aceleradores de Partículas	
Síncrotron	
Velocidade da Luz	
Rede Magnética	
Radiação Eletromagnética	
Linha de Luz	
Anel de Armazenamento	
Canhão de Elétrons	
Acelerador Linear	
Estações Experimentais	
Acelerador Sirius	

Atividade – Compreensão e Sumário

1. Escreva um resumo, para alguém que não saiba nada sobre o Acelerador de Partículas Sirius e a Luz Síncrotron descrevendo-o o que é, para que serve e onde se localiza.

2. Descreva como a Luz Síncrotron é gerada no Sirius.

3. Descreva como os elétrons são acelerados.

APÊNDICE I

Processo de Contextualização do Conhecimento do Ponto de Vista Social (3ª Etapa da SEI)

≡ MENU **g1**

CAMPINAS E REGIÃO 

Q BUSCAR

Superlaboratório Sirius ajuda a revelar detalhes inéditos da reprodução do vírus da Covid-19

De acordo com cientistas, entendimento de um dos mecanismos de replicação do Sars-Cov-2 dentro das células abre caminho na busca por estratégias antivirais contra doença. Trabalho de pesquisadores da USP de São Carlos é o primeiro publicado com dados coletados no equipamento instalado em Campinas (SP).

Por G1 Campinas e região

20/07/2021 09h47

Cientistas descobriram, com ajuda do Sirius, superlaboratório de luz síncrotron de 4ª geração, detalhes inéditos do processo de reprodução do Sars-Cov-2, vírus causador da Covid-19. Tal entendimento abre caminho na busca por fármacos que possam inibir esse mecanismo de replicação dentro das células. O trabalho realizado por pesquisadores da USP de São Carlos (SP) foi publicado em edição especial do Journal of Molecular Biology, e é o primeiro artigo com dados coletados no acelerador de partículas instalado em Campinas (SP).

Coordenador do grupo que realizou as primeiras coletas de imagem no Sirius, o professor Glaucius Oliva explica que quando o Sars-Cov-2 entra na célula, ele assume o controle para tentar se replicar, mas o processo depende de várias etapas, e é em uma delas que os cientistas querem agir em busca de estratégias antivirais.

"Ele (Sars-Cov-2) não faz um vírus pronto para infectar outras células, ele faz suas proteínas em um único bloco, que chamamos de poliproteína. Uma parte desse bloco é a protease, e a função dela é transformar essa poliproteína em suas partes que, ao se juntarem, podem reproduzir muitas cópias do genoma viral e das proteínas do envelope e assim gerar novos vírus, que são capazes de infectar outras células. O objetivo é parar este processo logo no início da ação da protease e assim impedir a produção de novos vírus nas células infectadas", diz.

Com os estudos desenvolvidos na linha Manacá, primeira a ficar disponível para pesquisadores externos no Sirius, a equipe do Instituto de Física da USP passou a compreender processos do metabolismo dessa protease do coronavírus até então desconhecidos. Os cientistas descobriram que para que a protease Mpro (também denominada de 3CLPro) alcance a sua forma madura ela precisa se ligar temporariamente a outras cópias dela mesma, com o mesmo estado de maturação ou mais maduras.

"Usamos a Manacá para caracterizar, de forma inédita, múltiplas formas que a protease Mpro adquire ao longo do seu processo de auto maturação. Além disso, identificamos como

APÊNDICE J**Aprofundamento do Conteúdo
(3ª Etapa da SEI)****Atividade - Luz Síncrotron e o Acelerador de Partículas Sirius: fato ou ficção**

Demonstração		Verdadeiro ou Falso	Justificativa
1.	A luz síncrotron é um tipo de radiação eletromagnética que se estende por um amplo espectro desde o infravermelho, passando pela luz visível e pela radiação ultravioleta e chegando aos raios X;		
2.	Com o uso dessa luz especial é possível penetrar a matéria e revelar características de sua estrutura molecular e atômica para a investigação de todo tipo de material;		
3.	Devido seu brilho NÃO ser tão brilhante não é possível realizar nenhum tipo de análise com as radiações;		
4.	Com a luz síncrotron é permitido experimentos extremamente rápidos e a investigação de detalhes dos materiais além de acompanhar a evolução no tempo de processos físicos, químicos e biológicos;		
5.	A fonte de luz síncrotron brasileira, Sirius, está localizada na cidade do Rio de Janeiro;		
6.	O Sirius, a maior e mais complexa infraestrutura científica do país é um espaço voltado só para os pesquisadores que desenvolve suas pesquisas nos laboratórios. Não é aberto para o público em geral;		

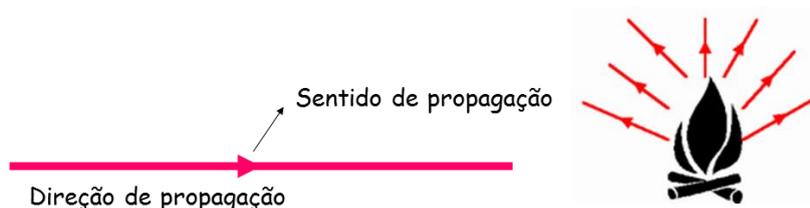
Material em vídeo sobre o Sirius e a luz síncrotron.

Material	Abordagem	Aula/Link
Vídeo 2	Conheça o Sirius, o acelerador de partículas síncrotron	https://www.youtube.com/watch?v=tIPD9i5wRL0
Vídeo 3	Fonte de luz síncrotron: para que serve e como funciona	https://www.youtube.com/watch?v=AkQEZsTr-KQ&t=42s
Vídeo 4	As mentes por trás do maior acelerador de partículas do Brasil	https://www.youtube.com/watch?v=KHA9CBpzqW8

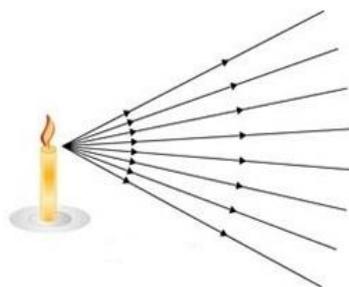
FONTE: A autoria própria, 2023.

Atividade 2 – Radiação Eletromagnética da Luz Síncrotron

Questão 1: Em sua opinião, o que um raio de Luz?



Questão 2: Relacione a primeira coluna com a segunda.

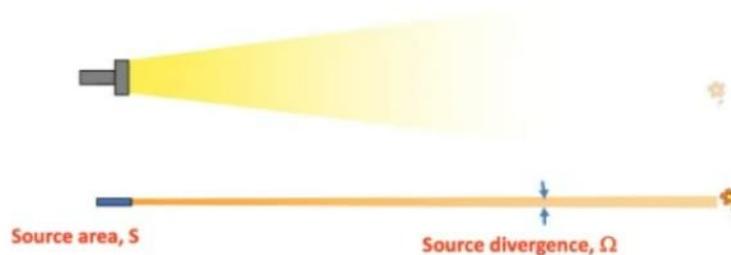


- (1) Luz
- (2) Raio de Luz
- (3) Feixe de Luz
- (4) Fonte de Luz

- () Conjunto de raios luminosos com uma abertura angular que lhes permitem iluminar uma região;
- () Todo corpo que tem a capacidade de emitir luz;
- () Energia radiante, sem matéria, conhecida como ondas eletromagnéticas;
- () Objeto geométrico, retilíneo, que mostra a direção e o sentido de propagação da luz.

Questão 3: Em relação à abertura angular da fonte de luz, qual a melhor fonte para clarear uma sala? E qual a melhor fonte para detalhar um objeto? Justifique sua resposta.

FIGURA: Radiações Eletromagnéticas



Fonte: Medium, 2018.

Questão 4: Em sua opinião, o que é brilho?

Texto para Leitura - Linhas de Luz e as Técnicas Experimentais

A luz síncrotron gerada no Sirius passa por diferentes linhas de luz para serem usadas em diferentes conjuntos de experimentos. Quando alguém quebra o abraço, por exemplo, o médico irá encaminhá-lo para um raio-X, que mostra os ossos dentro de seu corpo. A luz Síncrotron também produz raio-X, mas eles são muito mais fortes, de maior brilho e mais versáteis que os produzidos por uma máquina médica e dar aos cientistas imagens muito mais detalhadas. O brilho da luz Síncrotron também permite outras técnicas para estudar a estrutura dos objetos sem precisar cortá-las, como, por exemplo, elaborar detalhes precisos de como os átomos e moléculas são arrançados.

No Sirius, as linhas de luz são as estações experimentais onde os materiais são analisados. Elas são como microscópios complexos que focalizam a radiação síncrotron para que ela ilumine as amostras dos materiais em estudo e permita a observação de seus aspectos microscópicos. Essas linhas, que levam o nome da fauna e da flora brasileiras, foram projetadas para abrigar instrumentação científica avançada, adequada para solucionar as áreas estratégicas para o desenvolvimento brasileiro.

A seguir, são apresentadas as informações técnicas e o status de cada uma das linhas de luz e de outras instalações que fazem parte da fonte de luz síncrotron do Sirius.

LINHAS DE LUZ	TÉCNICA PRINCIPAL	FAIXA DE ENERGIA
Carnaúba	Nanosopia de Raios X	2,05 – 15 keV
Cateretê	Espalhamento Coerente de Raios X	3 – 24 keV
Cedro	Dicroísmo Circular	3 – 9 eV
Ema	Espectroscopia e Difração de Raios X em Condições Extremas	2,7 – 30 keV
Imbuia	Micro e Nanoespectroscopia de Infravermelho	70 – 400 meV
Ipê	Espalhamento inelástico ressonante de Raios X e Espectroscopia de Fotoelétrons	100 – 2000 eV
Jatobá	Espalhamento Total de Raios X e Análise de PDF	40 – 70 keV
Manacá	Micro e Nanocristalografia Macromolecular	5 – 20 keV
Mogno	Micro e Nanotomografia de Raios X	22/39/67,5 keV
Paineira	Difração de Raios X em Policristais	5 – 30 keV
Quati	Espectroscopia de Raios X com Resolução Temporal	4,5 – 35 keV
Sabiá	Espectroscopia de Fotoemissão e Absorção de Raios X Moles de Alto Fluxo	100 – 2000 eV
Sapê	Espectroscopia de Fotoemissão Resolvida em Ângulo	8 – 70 eV
Sapucaia	Espalhamento de Raios X a Baixos Ângulos	6 – 17 keV

A seguir discutiremos algumas dessas linhas com suas respectivas técnicas experimentais.

Carnaúba: Nesta linha é possível acessar bordas K dos elementos mais leves, como fósforo e enxofre, que são muito relevantes para as Ciências da Vida e Ambientais e bordas L de elementos de interesse tecnológico como os Lantanídeos. São possíveis vários tipos de análises de materiais nano-estruturados e hierarquicamente ordenados através de varreduras 2D e 3D, com contrastes por absorção, difração e emissão de raios X e de luz visível. Algumas das principais áreas beneficiadas por estas técnicas são: Ciência de Materiais (catalisadores, magnetismo, semicondutores, eletroquímica, fotônica); Nanotecnologia (saúde, informação); Ciências Ambientais (geociências, materiais em pressões extremas, petrologia); Bens culturais (artes, arqueologia e paleontologia) e Ciências da vida (aplicações médicas e biológicas).

O estudo do registro da vida na Terra, de seus primórdios até a evolução para formas mais complexas que conhecemos hoje, podem ser amplamente investigados em seus níveis ultraestruturais. Com a aplicação das técnicas disponíveis na linha Carnaúba, se valendo do foco nanométrico, estruturas antes não alcançadas pelo limite de resolução (como microfósseis, biominerais e outros caracteres bióticos potencialmente preservados) agora podem ser explorados com alto nível de detalhes composicionais, estruturais e morfológicos. Materiais paleontológicos (ou materiais os quais se queira investigar a biogenicidade) podem ser explorados com a abordagem multitécnica e multi-escala combinando-se as técnicas disponíveis na linha. Exemplos, são a aplicação da XRD para determinação de mineralogia; XANES para avaliação dos estados de oxidação dos elementos; análises composicionais por XRF (espectros pontuais ou mapeamento); XEOL para obtenção de espectros de luminescência e pticografia para imageamento 2D e 3D. Podem ser revelados detalhes paleoambientais sobre o contexto dos fósseis, modo de preservação (tafonomia), detalhes diagenéticos (alterações diversas que ocorreram durante a história do fóssil), bem como informações a respeito da biogenicidade, estrutura, datas e elementos do material.

Cateretê: É possível responder diversas questões relacionadas às ciências da vida (aplicações biológicas e médicas), biologia estrutural (proteínas, lipídios, macromoléculas) e ao vasto campo de ciências de materiais, incluindo a nanotecnologia (energia, alimentação e saúde, fotônica), ciências de polímeros, catálise, reologia e ciências ambientais (geociências, prospecção de petróleo, catálise). Portanto, todos os principais campos de pesquisa, desde a física, química e biologia, mas também aspectos industriais podem ser explorados.

A linha de luz CATERETÊ oferece capacidades únicas em experimentos de imagem e dinâmica de materiais biológicos e da matéria condensada, com foco particular na aplicação de técnicas espalhamento e difração de raios X coerentes. Experimentos de imagem por difração de raios X coerente (CXDI) e espectroscopia de correlação de fótons de raios X (XPCS) estão no centro das atividades na linha de luz CATERETÊ, mas também espalhamento de raios X a baixo ângulo (SAXS) e ultra baixo ângulo (USAXS) com resolução temporal, que se beneficiarão do alto fluxo da fonte.

Cedro: Essa linha de luz será dedicada à espectroscopia de dicroísmo circular eletrônico (CD) na região do ultravioleta (UV). A espectroscopia de CD é baseada na absorção diferencial da luz circularmente polarizada para a esquerda e direita por materiais opticamente ativos. É uma ferramenta valiosa para analisar a estrutura de moléculas quirais, incluindo as biomoléculas como proteínas, ácidos nucleicos e carboidratos. Dentre elas, as proteínas são extensivamente estudadas por CD para quantificar o conteúdo de estrutura secundária em termos de α -hélice, folhas β e estrutura desordenada, além de ser aplicada para investigar a estabilidade e interações com outras moléculas, que se destaca no âmbito de busca de novas drogas.

Ema: Isso inclui técnicas de espectroscopia de absorção de raios X, difração de raios X e espalhamento de raios X. Esta combinação irá permitir explorar pontos ainda não alcançados do diagrama de fase P-T-B de diversos materiais para resolver problemas científicos complexos na interseção entre tais condições termodinâmicas. Além disso, a grande variedade de ambientes de amostra e técnicas de caracterização disponíveis irão permitir uma larga gama de estudos abrangendo diversas áreas do conhecimento, tanto da ciência aplicada quanto da fundamental.

As seguintes técnicas serão cobertas por esta Linha de Luz:

- **Espectroscopia Magnética (XMCD) e Espalhamento (XRMS) sob alta pressão e baixa temperatura**, para a investigação do magnetismo específico de elementos sob pressão;
- **Experimentos em XRD e XAS a pressões e temperaturas extremas**, para a investigação de informação cristalográfica como uma função da pressão/temperatura

utilizando feixe extremamente focalizado, bigornas de diamante muito pequenas e lasers de alta potência;

- **Espalhamento Raman de Raios X com resolução de energia (Espalhamento Inelástico de Raios X)**, para a investigação elementos leves em materiais sujeitos a altas pressões e/ou temperaturas;
- **Imagem por Difração Coerente (CDI)**, para a investigação de deformações com resolução nanométrica em materiais sujeitos a alta temperatura e/ou pressão.

Atividade 5 – Linhas e Estações Experimentais

A igreja Matriz de São Cosme e Damião (Figura 3) é conhecida como a igreja mais antiga em funcionamento do Brasil. Foi tombada pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) em 1951.

Igreja de São Cosme e Damião



Fonte: Diário de Pernambuco, 2019.

A matriz teve sua construção iniciada apenas 35 anos depois da chegada dos portugueses em solo brasileiro, a mando de Duarte Coelho, um dos primeiros colonizadores do nosso país, que era devoto de São Cosme e Damião. Aos santos, é atribuído um milagre supostamente ocorrido em 1685. Quando as cidades vizinhas de Recife, Olinda, Itamaracá e Goiana foram assoladas pela febre amarela, Igarassu escapou ilesa da praga.

Suponha que essa igreja esteja passando por uma reforma e, em seu interior, foram descobertas cerâmicas decorativas antigas que remetem a traços de diversos momentos da história brasileira, como pinturas holandesas e traços do barroco. Você, como estudante pesquisador, se interessou em estudar esses materiais descobertos. Para isso, utilizará a Luz Síncrotron do acelerador de partículas Sirius. Qual a linha de luz e qual, ou quais, técnicas experimentais você escolheria para fazer esse estudo? Justifique sua resposta.

APÊNDICE K**Avaliação Final**

Prezado(a) estudante:

As questões abaixo têm o objetivo de reconhecer saberes construídos e dificuldades no estudo da radiação eletromagnética da luz síncrotron e do acelerador de partículas Sirius. Sua colaboração, ao responder, será muito importante para o aprimoramento da sequência didática da pesquisa em curso.

Nome do estudante:

Ano e semestre de ingresso na Instituição:

Curso que faz na Instituição

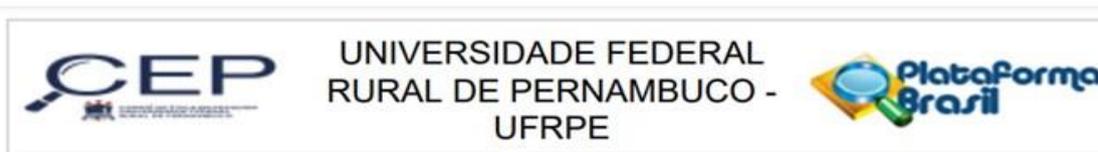
1. Redija um texto resumido explicando o que é um acelerador de partículas e como é gerada a luz síncrotron.

2. Quais os benefícios que o acelerador Sirius pode trazer para a população brasileira?

3. Faça um resumo dando seu ponto de vista sobre a Sequência Didática, relatando seus pontos positivos e negativos e quais possíveis melhorias.

MAIS UMA VEZ, AGRADEÇO PELA SUA PARTICIPAÇÃO!

ANEXOS

ANEXO A**PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA****PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP****DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

Título da Pesquisa: LUZ SÍNCROTRON: UMA ABORDAGEM PARA O ENSINO MÉDIO NA PERSPECTIVA DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

Pesquisador: RUBENS ANTONIO DA SILVA

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 67162522.4.0000.9547

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO- UFRPE

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 6.321.206

Apresentação do Projeto:

As informações aqui descritas foram extraídas do arquivo

"PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2056763.pdf", submetido em 11/09/2023 21:41:32, e postado pelo pesquisador na Plataforma Brasil.

"Uma das principais instalações de pesquisa do Brasil é o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), que é uma instituição multidisciplinar e que integra o Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), localizado na cidade de Campinas no estado de São Paulo, uma organização social supervisionada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). A luz síncrotron funciona como um grande microscópio que permite a observação da estrutura interna de materiais a partir da radiação emitida por elétrons em alta velocidade, dentro de um acelerador de partículas, quando desviados por um campo magnético. O Brasil construiu sua própria fonte de luz síncrotron em 1997, com a inauguração do UVX pelo CNPEM (GALDINO, 2021). Com o aumento do número de usuários ao longo dos anos e a possibilidade de construção de fontes de luz mais modernas (conhecidas como fontes de luz de quarta geração) fez com que, em 2006, o CNPEM iniciasse os estudos para a construção da segunda fonte de luz síncrotron brasileira, que recebeu o nome de Sirius."

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

RECIFE, 25 de Setembro de 2023

Assinado por:
ANNA CAROLINA SOARES ALMEIDA
(Coordenador(a))

Endereço: Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n Dois Irmãos, 1º andar do Prédio Central da Reitoria da UFRPE
Bairro: Recife **CEP:** 52.171-900
UF: PE **Município:** RECIFE
Telefone: (81)3320-6638 **E-mail:** cep@ufrpe.br

ANEXO B**TERMO DE COMPROMISSO E CONFIDENCIALIDADE**

Título do projeto: Luz Síncrotron: uma abordagem para o ensino médio na perspectiva de divulgação científica

Pesquisador responsável: Rubens Antônio da Silva

Instituição/Departamento de origem do pesquisador: UFRPE/PPGEC

Telefone para contato:

E-mail: rubens.2006@hotmail.com

O pesquisador do projeto supramencionado assume o compromisso de:

- Garantir que a pesquisa só será iniciada após a avaliação e aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa – CEP/UFRPE e que os dados coletados serão armazenados pelo período mínimo de 05 anos após o término da pesquisa;
- Preservar o sigilo e a privacidade dos voluntários cujos dados serão estudados e divulgados apenas em eventos ou publicações científicas, de forma anônima, não sendo usadas iniciais ou quaisquer outras indicações que possam identificá-los;
- Garantir o sigilo relativo às propriedades intelectuais e patentes industriais, além do devido respeito à dignidade humana;
- Garantir que os benefícios resultantes do projeto retornem aos participantes da pesquisa, seja em termos de retorno social, acesso aos procedimentos, produtos ou agentes da pesquisa;
- Assegurar que os resultados da pesquisa serão anexados na Plataforma Brasil, sob a forma de Relatório Final da pesquisa;

Recife, 20 de Novembro de 2022.

Assinatura Pesquisador Responsável

ANEXO C



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO - UFRPE
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PRPPG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS - PPGE

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (PARA MAIORES DE 18 ANOS OU EMANCIPADOS)

Convidamos o(a) Sr.(a) para participar como voluntário(a) da pesquisa **Luz Síncrotron: uma abordagem para o ensino médio na perspectiva de divulgação científica**, que está sob a responsabilidade do pesquisador Rubens Antônio da Silva, Telefone:, (e-mail: rubens.2006@hotmail.com). e está sob a orientação de Helaine Sivini Ferreira. Telefone:, e-mail: helaine.ferreira@ufrpe.br.

Todas as suas dúvidas podem ser esclarecidas com o responsável por esta pesquisa. Apenas quando todos os esclarecimentos forem dados e você concorde com a realização do estudo, pedimos que rubriche as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma via lhe será entregue e a outra ficará com o pesquisador responsável.

Você estará livre para decidir participar ou recusar-se. Caso não aceite participar, não haverá nenhum problema, desistir é um direito seu, bem como será possível retirar o consentimento em qualquer fase da pesquisa, também sem nenhuma penalidade.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

- **Descrição da pesquisa:** Esta pesquisa é uma pesquisa realizada em duas etapas: uma no ambiente virtual, com professores que participaram da Escola Sirius, e outra etapa com estudantes do Ensino Médio. Está sendo realizada de acordo com as orientações para procedimentos em pesquisas em consonância com o Ofício Circular Nº 2/2021/CONEP/SECNS/MS e também em consonância ao disposto na Resolução CNS nº 466 de 2012. É intitulada **Luz Síncrotron: uma abordagem para o ensino médio na perspectiva de divulgação científica** e tem como objetivo geral investigar as contribuições da utilização da Divulgação Científica, com o público escolar, a partir de sequências didáticas do ensino por investigação, na abordagem da radiação eletromagnética da Luz Síncrotron.
- **Esclarecimento do período de participação do voluntário na pesquisa, início, término e número de visitas para a pesquisa:** Para participar da pesquisa você terá que responder a um questionário, via Google Forms, contendo algumas perguntas dissertativas e de múltiplas escolhas, com duração máxima de 20 minutos. É de extrema importância que você guarde, em seus arquivos, uma

cópia do documento eletrônico TCLE (ITEM 2.2 do Ofício Circular nº2/2021 emitido pela CONEP intitulado Orientações para procedimentos em pesquisas com qualquer etapa em ambiente virtual).

➤ **RISCOS diretos para o voluntário:** Nessa fase da pesquisa, o instrumento de coleta de dados será um questionário. Consequentemente estão atrelados a eles alguns riscos de ordem psicológica, intelectual e emocional, que devem ser esclarecidos conforme a Resolução 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde. Assim, os riscos que os participantes dessa pesquisa podem sofrer são: a) possibilidade de constrangimento ao responder o questionário; b) desconforto; c) medo; d) vergonha de expor suas respostas; e) estresse; f) quebra de sigilo; g) cansaço ao responder às perguntas; h) quebra de anonimato; i) possibilidade de ambiente virtual ser invadido o que pode trazer riscos como violação do sigilo; j) interrupção da energia; k) queda da rede de internet e l) possibilidade de dados expostos na nuvem. No intuito de minimizar os riscos algumas ações sempre estarão sendo tomadas, por exemplo: 1) serão respeitados os valores culturais, sociais, morais, religiosos e éticos, bem como os hábitos e costumes dos voluntários; 2) todos dos dados obtidos na pesquisa serão utilizados exclusivamente para a finalidade prevista no seu protocolo e conforme acordado no TCLE; 3) serão assegurados confidencialidade e a privacidade, a proteção da imagem e a não estigmatização, garantindo a não utilização das informações em prejuízo das pessoas; 5) estaremos sempre atentos aos sinais não verbais de desconforto; 6) garantiremos o acesso aos resultados individuais e coletivos; 7) minimizaremos desconfortos, garantindo local reservado e liberdade para não responder questões constrangedoras. As providências que serão tomadas para mitigar os riscos estão de acordo como Ofício Curricular Nº 2/2021/CONEP/SECNS/MS – a) o convite para participação será enviado individualmente ou através de lista oculta não permitindo a identificação dos participantes ou a visualizaçãodo seu contato de e-mail/telefone por terceiros; b) por se tratar de uma pesquisa em um ambiente virtual, se faz necessário que os participantes possam guardar uma cópia do documento eletrônico, por este motivo todos receberão por e-mail às suas respostas, inclusive o TCLE assinado; c) é garantido ao participante, a qualquer momento, não responder todas as perguntas do questionário e entrevista, além de, se desejar, se retirar da pesquisa a qualquer momento; d) o participante só terá acesso às perguntas depois da assinatura do TCLE, para que ele possa ter ciência dos riscos e benefícios de sua participação; e) os dados dos participantes serão coletados no Google Forms. Finalizada a coleta de dados, todos os dados serão guardados em arquivos e pastas no computador pessoal do pesquisador, que só poderá ser acessado através de senha e os mesmos só serão excluídos da nuvem após 5 anos de encerrada a pesquisa. Todo o acesso ao Google Forms será realizado através do e-mail pessoal do pesquisador, que necessita de senha pessoal, sendo intransferível. Além disso, o computador também possui antivírus para evitar o vazamento de dados e a invasão.

➤ **BENEFÍCIOS diretos e indiretos para os voluntários:** Todos os participantes dessa pesquisa terão garantia de acesso aos resultados obtidos conforme preconiza a Resolução CNS 466/2012, capítulo III, item III.2.3.4. Essa pesquisa beneficiará o meio educacional, porque será capaz de esclarecer, a nível de Brasil, uma melhor compreensão sobre a Luz Síncrotron e seus benefícios, tema de extrema relevância diante do contexto científico e tecnológico atual. Será benéfica aos professores(as) participantes, pois estarão contribuindo para uma pesquisa em educação em que futuramente poderão estar se debruçando para realizar os seus projetos em sala de aula.

Todas as informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Os dados coletados nesta pesquisa ficarão armazenados em pastas de arquivo em um computador pessoal, sob a responsabilidade do pesquisador

Rubens Antônio da Silva e da Orientadora Helaine Sivini Ferreira (pesquisadora Orientador), no endereço acima informado, pelo período mínimo 5 anos.

Nada lhe será pago e nem será cobrado para participar desta pesquisa, pois a aceitação é voluntária, mas fica também garantida a indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extra-judicial. Se houver necessidade, as despesas para a sua participação serão assumidas pelos pesquisadores, assim como será oferecida assistência integral, imediata e gratuita, pelo tempo que for necessário em caso de danos decorrentes desta pesquisa.

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, você poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa – CEP/UFRPE no endereço: Rua Manoel de Medeiros, S/N Dois Irmãos – CEP: 52171-900 Telefone: (81) 3320.6638 / e-mail: cep@ufrpe.br (1º andar do Prédio Central da Reitoria da UFRPE, ao lado da Secretaria Geral dos Conselhos Superiores). Site: www.cep.ufrpe.br .

Rubens Antônio da Silva
(Pesquisador)

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO VOLUNTÁRIO (A)

O termo de consentimento deverá ser preenchido virtualmente via *Google Forms* de acordo com as orientações abaixo:

Eu _____, CPF _____, baixo assinado pela pessoa por mim designada, após a leitura (ou a escuta da leitura) deste documento e de ter tido a oportunidade de conversar e ter esclarecido as minhas dúvidas com o pesquisador responsável, concordo em participar da pesquisa intitulada: **Luz Síncrotron: uma abordagem para o ensino médio na perspectiva de divulgação científica**, como voluntário(a). Fui devidamente informado(a) e esclarecido(a) pelo(a) pesquisador(a) sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade.

Local e data _____

Diante das explicações você acha que está suficientemente informado(a) a respeito da pesquisa que será realizada e concorda de livre e espontânea vontade em participar, como colaborador (a)?

() Sim () Não

Presenciamos a solicitação de consentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa e o aceite do voluntário em participar. (02 testemunhas não ligadas à equipe de pesquisadores):

Nome:	Nome:
Assinatura:	Assinatura: