

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

DAIANNE SOUZA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO DA ABORDAGEM CTS EM CONTEÚDOS DE
FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA DAS OBRAS DO PNLD 2021**

JATAÍ - GO

2024



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor:

Matrícula:

Título do Trabalho:

Autorização - Marque uma das opções

- ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
- ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
- ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Satara /GO
Local

16/03/2025
Data

Daianne Souza Silva

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

DAIANNE SOUZA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO DA ABORDAGEM CTS EM CONTEÚDOS DE
FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA DAS OBRAS DO PNLD 2021**

Trabalho de Conclusão de Curso de Licenciatura em Física apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí sob a orientação do Professor Doutor Carlos Cezar da Silva e coorientação do Professor Doutor Felipe Guimarães Maciel.

JATAÍ - GO

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)

Silva, Daianne Souza.

Caracterização da abordagem CTS em conteúdos de Física Moderna e Contemporânea das obras do PNLD 2021 [manuscrito]/ Daianne Souza Silva. - Jataí: IFG, Coordenação do Curso de Licenciatura em Física, 2025.

62 f.; il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos César da Silva.

Bibliografias.

1. Livro didático 2. Ensino Médio. 3. Física Moderna e Contemporânea. 4. Abordagem CTS. I. Silva, Carlos César da. I. IFG, Câmpus Jataí. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Téc.: Aquisição e Tratamento da Informação.

Bibliotecária – Rosy Cristina Oliveira Barbosa – CRB 1/2380 – Campus Jataí. Cód. F032/2025-1.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS JATAÍ

TERMO DE APROVAÇÃO

DAIANNE SOUZA SILVA

CARACTERIZAÇÃO DA ABORDAGEM SOBRE OS CONTEÚDOS DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO PNLD 2021

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) – Câmpus Jataí, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Licenciado em Física. Monografia defendida em 13 de fevereiro de 2025 e aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

(assinado eletronicamente)

Prof. Dr. Carlos Cezar da Silva
IFG - Câmpus Jataí
Presidente da Banca

(assinado eletronicamente)

Prof. Dr. Felipe Guimarães Maciel
Universidade de Brasília (UnB)

(assinado eletronicamente)

Prof. MSc. Wagner Pereira Lopes
IFG - Câmpus Jataí

(assinado eletronicamente)

Profª. MSc. Geisa Pires da Silva
IFG - Câmpus Goiânia Oeste

Jataí – GO
2025

Documento assinado eletronicamente por:

- Wagner Pereira Lopes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 26/02/2025 07:44:42.
- FELIPPE GUIMARAES MACIEL, FELIPPE GUIMARAES MACIEL - 234515 - Docente de ensino superior na área de pesquisa educacional - Unb (00038174000143), em 25/02/2025 09:55:36.
- Geisa Pires da Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 20/02/2025 14:51:35.
- Carlos Cezar da Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 13/02/2025 20:19:24.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 09/02/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 616103
Código de Autenticação: 51e9b59f24



AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão aos professores e colegas do curso Licenciatura em Física do IFG-Câmpus Jataí, que com as trocas de conhecimentos e discussões, enriqueceram minha jornada acadêmica.

Agradeço ao meu coorientador professor Felipe Guimarães Maciel pela orientação pela maior parte do trabalho de conclusão de curso e ao professor Carlos Cezar da Silva pela orientação na fase final.

Agradeço a minha família, especialmente a meus pais, Ivanildo e Sandra, por me ajudar da forma como puderam, por acreditarem em mim e me apoiarem.

E por fim, agradeço a todos que colaboraram de forma direta ou indireta durante a realização deste trabalho de conclusão do curso.

RESUMO

o presente trabalho trata-se de uma pesquisa cujo objetivo foi caracterizar a abordagem dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) à luz dos pressupostos CTS constantes nos livros didáticos de Ciências da Natureza e suas Tecnologias do Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD/2021). Para cumprir o objetivo, fizemos uso de abordagens quanti-qualitativas acima de dados públicos e documentais, bem como o estudo detido de um conjunto de obras selecionadas do referido edital. Para a análise dos dados levantados na pesquisa, utilizou-se a técnica da Análise de Conteúdo (AC). O primeiro movimento de análise nos permitiu verificar a diversidade formativa dos autores recrutados pelas editoras para a elaboração das 7 (sete) coletâneas específicas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias ofertadas no edital do PNLD 2021. A análise dos livros didáticos mostrou que houve avanços nos conteúdos abordados, mas também demonstrou a necessidade de um esforço contínuo para que esses conteúdos sejam apresentados de forma acessível e importantes para os alunos. Alternativamente, a capacitação dos professores e o desenvolvimento de materiais didáticos complementares e inovadores podem se mostrar fundamentais para superar os desafios e potencializar os benefícios da FMC, sob uma perspectiva CTS, na Educação Básica. Os resultados obtidos indicam que os livros analisados apresentam conceitos relacionados à FMC em uma linguagem clara, coerente e de fácil compreensão pelos alunos do Ensino Médio. Contudo, observou-se que nem sempre esses textos contextualizam o conteúdo, discorrem sobre o impacto social e ambiental na construção desses conhecimentos. Estas conclusões sugerem a necessidade de uma complementação do ensino de FMC para promover uma compreensão mais ampla e integrada desses tópicos sob uma perspectiva dos pressupostos CTS.

Palavras-chaves: Livro Didático, Ensino Médio, Física Moderna e Contemporânea, Abordagem CTS.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	6
2. REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 De que Física Moderna e Contemporânea estamos falando?	10
2.2 Há espaço para o ensino de Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica?	17
2.3 A educação científica na perspectiva CTS	22
2.4 Bases legais e o PNLD: espaço para a educação CTS?	27
3. METODOLOGIA DE ESTUDO E ANÁLISE DE DADOS	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1. Descrição do coletivo de autores das obras de Ciências da Natureza do PNLD 2021.	38
4.2. Descrição dos conteúdos de FMC nas obras analisadas.	42
4.3. Caracterização da abordagem CTS nos conteúdos de FMC identificados.	45
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

INTRODUÇÃO

O campo das pesquisas em Ensino de Física tem se mostrado uma área de pesquisa repleta de concepções teóricas e metodológicas, objetivando, dentre outras coisas, a divulgação científica e o desenvolvimento da capacidade do pensamento crítico dos discentes (Paulo, 1997 *apud* Ostermann, 2000). Filiado a este campo, o presente trabalho trata-se de uma pesquisa cujo propósito é a caracterização das abordagens sobre os conteúdos temáticos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) contidos em livros didáticos de Ciências da Natureza e suas Tecnologias que compuseram o Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) do ano de 2022 (edital publicado em 2021 para o chamamento de obras destinadas ao Novo Ensino Médio – NEM¹), à luz das propostas curriculares materializadas na Base Nacional Comum Curricular (BNCC). O NEM foi implementado gradualmente a partir de 2022 e trouxe mudanças gerais nas configurações educacionais dos estados, entes federativos primariamente responsáveis pela oferta deste segmento da Educação Básica, e reforçou a proposta da BNCC promulgada em 1988 por meio da Lei n°. 9.394.

Além disso, sugeriu-se um modelo de organização curricular por áreas de conhecimento, designado por itinerários formativos, em que os alunos teriam a oportunidade de escolher quais áreas pretendiam aprofundar, além de optar pela formação técnica e profissional. De acordo com Brasil (2018) os atuais itinerários formativos pretendiam se aprofundar nos conhecimentos de uma área do conhecimento (Matemáticas e suas Tecnologias, Linguagens e suas Tecnologias, Ciências da Natureza e suas Tecnologias e Ciências Humanas e Sociais Aplicadas) e da formação técnica e profissional (FTP).

Meu interesse pelo tema proposto neste trabalho surgiu a partir da constatação de que a temática da FMC apresentada na BNCC norteadora da elaboração dos livros didáticos oferecidos no âmbito do PNLD constitui-se como peça fundamental para a compreensão acerca de diversos fenômenos físicos e de algumas tecnologias contemporâneas. Porém, durante as práticas do estágio supervisionado do Curso de Licenciatura em Física, notei que o professor regente de sala de aula não utilizava os livros didáticos que foram escolhidos após a reforma do Novo Ensino Médio. A partir dessa constatação, questionei o professor e sua resposta foi clara: “os atuais livros não oferecem todos os conteúdos, teorias e fórmulas que quero trabalhar com

¹ Referimo-nos ao edital do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) nº 03/2019 que pode ser acessado em: <https://www.gov.br/fnde/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/programas/programas-do-livro/consultas-editais/editais/edital-pnld-2021>. Acesso em nov. 2024.

os alunos e eles são muitos enxutos com apenas pequenos textos exemplificando o tema a ser abordado sem aprofundamento teórico”.

Ao entrar em contato com esses novos livros, conclui em uma primeira análise, que eles, de fato, apresentam muitos resumos quando comparados a outros que tive contato durante minha formação. Particularmente em relação aos conteúdos sobre FMC, praticamente não os encontrei. No entanto, destaco que se tratou de uma análise superficial sobre poucos títulos. Reconhecendo que o livro didático é, frequentemente, o material básico usado por professores e alunos como suporte do processo ensino-aprendizagem em sala de aula, questionei-me o que podemos esperar dos livros no último PNLD para o Ensino Médio em relação às abordagens sobre FMC.

No contexto do Ensino Médio, a FMC oferece aos alunos a oportunidade de compreender e apreciar as tecnologias presentes em suas vidas. Por exemplo, ao estudar a Teoria da Relatividade, os alunos podem entender o funcionamento de tecnologias atuais como o Sistema de Posicionamento Global (GPS), o significado de empreitadas científicas contemporâneas como o estudo de ondas gravitacionais, a relação massa-energia responsável pela energia gerada em estrelas e reatores nucleares, o funcionamento das bombas atômicas (além da discussão ética e da concepção de Ciência isenta), bem como a própria evolução histórica da Física que culminaria na proposição desta teoria em contraposição ao mecanicismo clássico. Igualmente, ao se apresentar aos alunos as temáticas relacionadas à Física Quântica como o efeito fotoelétrico, o modelo atômico de Bohr, a dualidade onda partícula etc., discute-se as fronteiras microscópicas da Física que possuem aplicações tecnológicas, tais como os diodos (componentes dos LED²), relés, placas solares, aparelhos de Raios-X e de radioterapia, dentre outros. Para além dos dispositivos tecnológicos resultantes desse campo de estudo, potencialmente discute-se sobre a natureza do conhecimento científico. Ao estudar essas conexões os alunos poderão desenvolver uma visão mais abrangente do conhecimento científico e compreender como diferentes áreas do conhecimento se complementam.

Por meio do estudo de FMC os alunos poderão desenvolver habilidades importantes, como o raciocínio lógico por questões com influência de cálculos, a capacidade de resolver problemas complexos, o pensamento crítico e a aplicação de conhecimentos científicos. Essas habilidades são valiosas tanto para futuros estudos científicos quanto para a vida cotidiana,

² Do inglês *Light Emitting Diode*, ou diodo emissor de luz. Trata-se de um semicondutor que, quando atravessado por uma corrente específica, emite luz visível a partir dos novos arranjos dos elétrons em seus níveis energéticos.

independentemente da carreira profissional escolhida. Portanto, a inclusão da FMC no currículo escolar do Ensino Médio é essencial para preparar os estudantes para os desafios do mundo contemporâneo, estimulando sua curiosidade científica, promovendo a interdisciplinaridade e desenvolvendo habilidades importantes para sua formação como cidadãos conscientes e atuantes. Sendo assim, a divulgação do conhecimento científico e tecnológico na sociedade atual torna-se fundamental, pois todos nós estamos, por exemplo, diariamente em contato com aparelhos eletrônicos e rodeados por debates acerca da validade e aplicabilidade da Ciência enquanto conjunto de métodos de construção de conhecimento prático ao ser humano.

Nesse sentido, busca-se fomentar processos de ensino-aprendizagem voltados para linguagens, códigos, símbolos e nomenclaturas, com o objetivo de identificar e utilizar unidades de medidas que fazem parte do processo de estudos científicos, particularmente, para este estudo, aqueles voltados para a FMC. Não por outro motivo, desde as orientações complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+), publicados início da década dos anos 2000, já se destacava que

[...] alguns aspectos da chamada Física Moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria, de forma a que tenham contato com diferentes e novos materiais, cristais líquidos e lasers presentes nos utensílios tecnológicos, ou com o desenvolvimento da eletrônica, dos circuitos integrados e dos microprocessadores (Brasil, 2002, p 70).

Neste trabalho de conclusão de curso assumimos que o livro didático é, por excelência, o principal meios de auxílio à formação dos alunos em sala de aula e guia à prática docente, ainda que não seja a única fonte de informação disponível. Logo, propomos uma investigação para compreender como tais conteúdos têm sido apresentados aos alunos e professores à luz do conjunto das contribuições da literatura acadêmica da área de Ensino acumuladas ao longo das últimas décadas sobre a relevância da abordagem deste tema. Além disso, procuramos caracterizar essas inserções em articulação com a perspectiva da educação em Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) que, a nosso ver, constitui-se como perspectiva fértil para fomentar as discussões relacionadas às abordagens sobre a temática de FMC no atual contexto social, em especial num cenário pós-reforma do Ensino Médio e as consequentes alterações nos itinerários formativos dos alunos da Educação Básica.

Diante do exposto, esta pesquisa é balizada pela seguinte pergunta: “Como os conteúdos de FMC presentes nos livros didáticos do PNLD/2022 – Objeto 2 – das coletâneas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias incorporam os pressupostos da abordagem CTS, e de que

forma eles contribuem para a formação crítica e interdisciplinar dos estudantes do Ensino Médio nas escolas públicas brasileiras?”

Assumindo que a proposição curricular da BNCC inspira-se na sequência de uma tradição de pesquisas em Ensino de Física/ Ciências que reafirmaram, ao longo das últimas décadas, a relevância da inserção desses conteúdos na Educação Básica, estabelecemos como objetivo geral do estudo: *Caracterizar a abordagem dos conteúdos de FMC à luz dos pressupostos CTS constantes nos livros didáticos do PNLD/2022 – Objeto 2 – de duas coletâneas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias e disponibilizadas para as escolas públicas de Ensino Médio no Brasil.* Para alcançar esse objetivo geral, especificamos as seguintes metas:

1. *Caracterizar o perfil e alinhamento acadêmico com o campo de pesquisa em Ensino de Ciências e/ou Educação do coletivo de autores das coletâneas livros didáticos do PNLD/2022 – Objeto 2 – de Ciências da Natureza e suas Tecnologias;*
2. *Mapear os conteúdos de FMC presentes nos livros selecionados para este estudo;*
3. *Investigar as inserções dos conteúdos desses FMC à luz dos pressupostos da abordagem CTS, caracterizando o atendimento aos indicadores previstos no instrumento de análise de Oliveira et al. (2018).*

Para cumprir tais objetivos específicos, fizemos uso de abordagens quanti-qualitativos acima de dados públicos e documentais, em como o estudo detido de um conjunto de obras selecionadas do referido edital, uma vez que não foi possível, no tempo de realização deste, esgotar todo acervo de coleções disponível.

O presente texto está estruturado da seguinte forma: inicialmente apresentamos uma revisão da literatura sobre a relevância do ensino de FMC no Ensino Médio constantes na literatura científica da área de Ensino de Ciências. Após realizarmos um mapeamento dos conteúdos de FMC que potencialmente podem ser abordados em nível de Ensino Médio, realizamos breves considerações conceituais e históricas sobre os principais marcos da Física Moderna. Em seguida, faz-se uma introdução aos pressupostos da abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) e sua correlação com as políticas curriculares nacionais que orientam a educação brasileira especialmente nas últimas três décadas. Os tópicos seguintes descrevem os procedimentos metodológicos e análise dos dados, seguidos dos resultados obtidos e discussão relacionada. Por fim, são apresentadas as considerações finais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

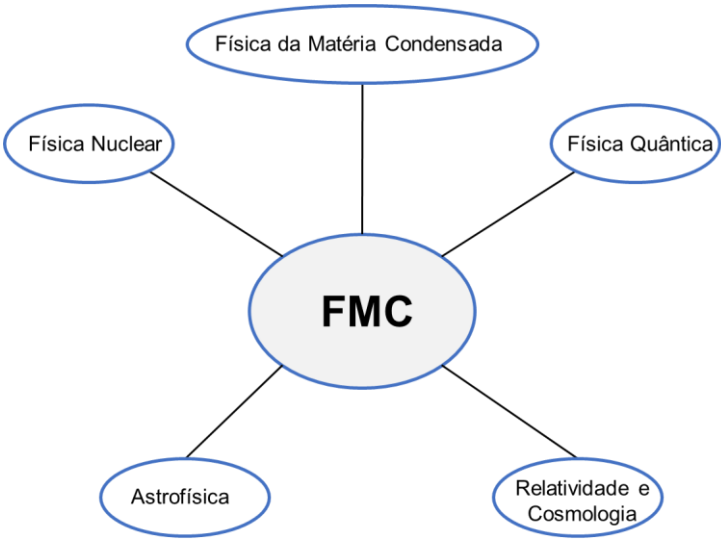
2.1 De que Física Moderna e Contemporânea estamos falando?

A Física Moderna (FM) é um campo da Física que descreve os fenômenos em escala subatômica e macroscópica que transcendem as limitações das teorias clássicas e estão, em sua maioria, além do alcance dos sentidos humanos. Desde os eventos científicos ocorridos no final do século XIX até meados da década de 1940 (Ostermann; Moreira, 2000), tais áreas exploram aspectos que não podem ser explicados unicamente pela Física Clássica, entendida como o conjunto de saberes das subáreas da mecânica clássica, termodinâmica, óptica, eletricidade e magnetismo. No entanto, até meados do século XX, houve uma resistência para compreender e aceitar que os átomos e moléculas não obedecem às mesmas leis físicas que governam objetos de dimensões macroscópicas. Também era incompreensível a constatação de que as leis da mecânica clássica possuíam um limite quando se tratava de velocidades próximas de c (velocidade da luz no vácuo).

Já o campo denotado por Física Contemporânea (FC) refere-se aos campos de estudo emergentes dos avanços científicos e tecnológicos dos anos de 1940 até os dias atuais, e contempla diversas áreas de estudo da Física com diversas implicações teóricas e aplicações tecnológicas. No campo acadêmico, por exemplo, da Astrofísica, Cosmologia, Mecânica Quântica, Física Nuclear e de Radiações, Física Molecular e dos Sólidos, Nanotecnologia, Física do Plasma, Física de Partículas, Relatividade e Teoria dos Campos dentre outras³. A Figura 1 a seguir apresenta uma proposta de organização dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) em macro categorias de uma perspectiva mais didática para a Educação Básica. Descritivamente, alguns dos conteúdos que podem ser abordados nas macro categorias da Figura 1 estão apresentados no Quadro 1 a seguir.

³ Uma listagem mais detalhada das especialidades das subáreas de Astronomia e Física pode ser obtida no site da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) em: <https://www.gov.br/capes/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/avaliacao/instrumentos/documentos-de-apoio/tabela-de-areas-de-conhecimento-avaliacao>. Acesso em 04 fev./2025.

Figura 1: Categorias das subáreas de atuação da FMC.



Fonte: adaptado de Amabis *et al.* (2020).

Quadro 1: Proposta de conteúdos fundamentais no ensino de FMC.

	Conteúdos fundamentais	Possibilidades de aplicações conhecidas
Física Moderna (FM)	Radiação de corpo negro	Desenvolvimento da Física Estatística; Uso em detectores de radiação térmica e dispositivos infravermelhos.
	Espectro eletromagnético	Comunicação (ex.: rádio, TV, Wi-Fi); Energia solar e sensores ópticos.
	Teoria quântica e modelos do átomo	Desenvolvimento de LEDs e semicondutores; Sensores e dispositivos eletrônicos.
	Efeitos Fotoelétrico e Compton	Painéis solares; Aplicações em segurança e sensores de luz.
	Dualidade onda-partícula	Desenvolvimento de lasers; Tecnologias de microscopia.
	Relatividade Restrita e Geral	Funcionamento e calibração do GPS; Estudos de buracos negros e ondas gravitacionais.
Física Contemporânea	Teoria quântica moderna (Mecânica Quântica)	Computação quântica (criptografia e processamento de dados); Desenvolvimento de algoritmos quânticos.
	Princípio da incerteza de Heisenberg	Nanotecnologia (manipulação precisa de átomos e moléculas); Projetos de sensores ultrasensíveis.
	Moléculas, sólidos e nanotecnologia (Física da Matéria Condensada)	Produção de materiais inteligentes (ex.: vidros autolimpantes, tecidos resistentes); Desenvolvimento de medicamentos personalizados.
	Física Nuclear e de Radiações	Geração de energia nuclear (reatores); Diagnósticos médicos.
	Modelo Padrão de partículas elementares	Pesquisa em grandes colisores de partículas (ex.: CERN); Avanços em tecnologias baseadas em partículas subatômicas (ex.: detectores de neutrinos).

â n e a (F C)	Astrofísica e Cosmologia	Exploração espacial (ex.: telescópios Hubble e James Webb); Estudos sobre a formação do Universo e a matéria escura.
--------------------------------------	--------------------------	--

Fonte: elaborada pela autora.

Quadro 2: Exemplos de aplicações e temas transversais no ensino de FMC.

T e m a s t r a n s v e r s a i s	<i>Impactos Éticos e Sociais da Ciência e Tecnologia</i> Contempla discussão sobre como a ciência e a tecnologia afetam a sociedade, considerando seus benefícios e desafios.	Armas nucleares: dilemas éticos e históricos; Radiação na medicina: benefícios e riscos associados; Inteligência artificial e computação quântica: privacidade e segurança de dados.
	<i>Sustentabilidade e Meio Ambiente</i> Provoca reflexões sobre o impacto das tecnologias da FMC no meio ambiente e soluções sustentáveis.	Energia nuclear: reatores vs. resíduos radioativos; Energias renováveis: painéis solares e impacto ambiental; Poluição tecnológica e descartes de materiais avançados.
	<i>Interdisciplinaridade entre Ciência, Tecnologia e Sociedade</i> Integra diferentes áreas do conhecimento para compreender as inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade.	Relação entre Física, Química e Biologia em nanotecnologia; Estudos sobre o impacto social da exploração espacial; Aplicações da Física no desenvolvimento de dispositivos médicos.
T e m a s t r a n s v e r s a i s	<i>Inovação e Desenvolvimento Tecnológico</i> Reflete sobre os avanços tecnológicos possibilitados pela FMC e suas implicações futuras.	Computação quântica: revolução tecnológica; Telescópios modernos (ex.: James Webb): exploração do cosmos e novas descobertas; Nanotecnologia: inovações em materiais e remédios.
	<i>Educação para a Cidadania Científica</i> Estimula o pensamento crítico, reflexões éticas e tomadas de decisão informadas sobre questões científicas e tecnológicas.	Discussões sobre uso de energia nuclear em países em desenvolvimento; Reflexão sobre como tecnologias baseadas em FMC afetam o mercado de trabalho; Desafios éticos em astrofísica.
	<i>Tecnologias no Cotidiano</i> Estabelece conexão entre a Física Moderna e Contemporânea e os dispositivos usados no dia a dia.	Aplicação do GPS e redes Wi-Fi; Uso de sensores baseados no efeito fotoelétrico (ex.: câmeras, alarmes); Smartphones e displays de LED: física por trás dessas tecnologias.

Fonte: elaborada pela autora.

É necessário destacar que não há limites muito bem definidos entre o que convencionou-se denotar por Física Moderna e Física Contemporânea, uma vez que seus desenvolvimentos se sobrepuseram em diversos momentos da história. Um exemplo dessa sobreposição é o início da Mecânica Quântica e da Física de Partículas, entendido como um marco da FM. Os conceitos apresentados por Max Planck (1900), costumeiramente associados ao campo da FM, foram logo

seguidos de avanços, como a eletrodinâmica quântica e o Modelo Padrão, ambos campos já relacionados à FM. Outro caso se refere à Física de Partículas. O modelo atômico de Rutherford (1911) e a descoberta do nêutron por Chadwick (1932) são elementos costumeiramente associados à FM. No entanto, a FC ampliou essas bases com os aceleradores de partículas, como o CERN, levando à descoberta de partículas como o bóson de Higgs, em 2012, que são extensões dos mesmos princípios quânticos. Em todos os casos, nota-se não haver uma fronteira bem definida entre um campo e outro, mas uma continuidade.

Já no campo de pesquisas em Ensino de Física costumeiramente denota-se por Física Moderna e Contemporânea (FMC) a tendência de inserção desses conteúdos na Educação Básica num movimento de “[...] questionar os temas de Física tradicionalmente ensinados nas escolas” (Ostermann, 2000, p. 2) a partir da década de 1980. O Quadro 1 detalha alguns dos conteúdos fundamentais comumente associados ao ensino de FMC,

A seguir apresentamos um breve panorama histórico conceitual sobre os temas relacionados à Física Moderna e Contemporânea. Nos restringiremos ao período histórico do século XX por se tratar daquele que apresentou as principais rupturas com a Mecânica, Eletromagnetismo e Termodinâmica Clássicas. Dessa forma trata-se de momentos históricos potencialmente ensinados em disciplinas de Física para a Educação Básica. Além disso, entendemos ser difícil traçar um histórico consolidado da Física Contemporânea por se tratar de temáticas que se encontram na fronteira do conhecimento físico construído até o momento.

O marco inicial do desenvolvimento da Física Moderna remete a 1900 quando Max Planck publicou um artigo intitulado “Sobre a Teoria da Lei de Distribuição de Energia do Espectro Normal” que, inicialmente, recebeu pouca atenção, porém marcou o início de uma revolução na Física. Concentrando-se no comportamento dos elétrons nas superfícies dos corpos negros e na sua interação com a radiação eletromagnética encerrada, Planck analisou este problema de perto nos seus primeiros trabalhos. Formulando uma associação entre a frequência da radiação do corpo negro e a energia do elétron na taxa de oscilação da superfície, ele propôs uma conjectura inicial de que a energia da partícula oscilante era *quantizada* e correspondia à frequência da radiação.

A compreensão de ondas eletromagnéticas enquanto fluxo de pacotes de energia, os *quanta*, por meio de *fótons* não foi rapidamente aceita por Planck. No entanto, ele finalmente ampliou sua teoria para abranger qualquer entidade que apresenta oscilações senoidais em suas coordenadas. Ao longo de uma década, Planck procurou persistentemente unir a ideia quântica

à teoria clássica. Apesar de se afastar frequentemente da sua concepção original, essas retratações deram origem a novas ideias e técnicas que a teoria quântica acabou por abarcar. Em última análise, Planck aceitou a hipótese quântica, uma vez que reconheceu a capacidade de melhorar a precisão das leis da termodinâmica e da noção estatística de entropia.

Em 1905, Albert Einstein usou a teoria de Planck para resolver outro fenômeno até então conhecido, porém sem a referida teorização: o Efeito Fotoelétrico. Tal efeito envolve a ejeção de elétrons da superfície de certos metais quando exposto a radiação de uma frequência mínima específica. Einstein propôs que a luz consistisse em partículas chamadas *fótons*, desencadeando um novo paradigma em que a teoria ondulatória clássica não poderia explicar o fenômeno e, em certa medida, ressuscitar uma discussão ainda do século XVII acerca da natureza corpuscular da luz.

Tais descobertas abriram caminho para resolver outro ponto em aberto da Física no final do século XIX: os espectros de emissão eletromagnética dos átomos. Em 1913, Niels Bohr, um físico dinamarquês, apresentou uma explicação teórica para o espectro do Hidrogênio. Contrariando as leis da física clássica, ele propôs que os elétrons pudessem ocupar órbitas com energias específicas, o que impediria que eles irradiassem energia e entrassem em colapso no núcleo. E a emissão de radiação ocorreria quando os elétrons saltassem de órbitas de maior energia para as de menor energia, liberando pequenas quantidades discretas de energia sob a forma de luz.

Já em 1924, Louis de Broglie sugeriu que partículas como elétrons também poderiam exibir propriedades ondulatórias, levando a ideia de que elétrons em órbita se comportam como ondas estacionárias. No entanto, esta dualidade onda-partícula abriu um novo campo de investigação em Física a partir da seguinte questão de como a “posição” de uma onda poderia ser determinada, uma vez que ela se estendesse no espaço. Em resposta, em 1926, Erwin Schrödinger formulou uma proposta matemática complexa que descreve o comportamento e as energias de partículas subatômicas, incorporando tanto seu comportamento corpuscular quanto ondulatório por meio da função de onda do comportamento corpuscular quanto ondulatório por meio da função de onda Ψ .

Concomitantemente ao fértil desenvolvimento da Física Quântica, um outro campo de estudo, este mais relacionado às grandes massas, velocidades e distâncias, era teoricamente formulado e, posteriormente, comprovado empiricamente. Einstein desenvolveu a sua Teoria da Relatividade (1905 e 1915), propondo uma revisão dos conceitos de espaço e tempo baseadas

nas ideias clássicas de Isaac Newton. A teoria da Relatividade Restrita é fundamentada em dois postulados: o primeiro afirma que as leis da física são as mesmas para todos os observadores que se encontram em sistemas de referenciais inerciais, e o segundo estabelece que a velocidade da luz no vácuo é constante e não depende do movimento do observador. Tais postulados conduzem a uma compreensão de tempo e espaço conectados e não mais absolutos, como a relatividade galileana estabelecia. Na Relatividade Geral, cujas bases foram lançadas pela Relatividade Restrita, Einstein descreveu a gravidade de uma maneira completamente nova. Em vez de ser uma força que age à distância, a gravidade foi entendida como o efeito da curvatura do *espaço-tempo* causada pela presença de massas. Por meio desta, foi possível teorizar buracos negros, lentes e ondas gravitacionais, além de possuírem aplicações práticas, como o funcionamento do GPS, que exige ajustes baseados nos efeitos relativísticos. A teoria da relatividade tem implicações importantes em todas as áreas da Física, especialmente relacionadas à ruptura com as previsões clássicas e à evolução e dinâmica dos grandes corpos que compõem o Universo.

Resultante dos achados da Física Moderna, cujas principais teorias foram sintetizadas nos parágrafos anteriores, emerge uma nova área da Ciência com aplicações dessas: a Física Contemporânea. Dentre essas aplicações destaca-se o desenvolvimento da Física Nuclear que investiga as interações que ocorrem entre prótons e nêutrons no núcleo dos átomos, os quais constituem a matéria presente em nossos corpos e no mundo ao nosso redor. Os núcleos atômicos possuem dimensões extremamente diminutas, na ordem de grandezas de fentômetro (10^{-15} metros). Esse campo abrange uma variedade de processos, incluindo decaimentos radioativos, fissão e fusão nuclear. A estabilidade ou instabilidade de um núcleo é determinada pela relação presente entre a força de atração nuclear, que é entre prótons e nêutrons, e a força de repulsão elétrica, que é resultado da repulsão coulombiana entre as cargas positivas dos prótons. Núcleos instáveis passam por processos de decaimento, nos quais se transformam espontaneamente em outras configurações nucleares através de diferentes tipos de decaimentos.

A fissão e a fusão nuclear, desempenham estudos fundamentais na Física Nuclear, sendo fundamentais na geração de energia e no entendimento de escalas atômicas e subatômicas. A fissão nuclear é um processo de decaimento no qual um núcleo instável se divide em dois fragmentos pela eliminação de partículas energizadas. Uma forma de provocar esses decaimentos, faz-se o dito “bombardeio” com nêutrons de isótopos instáveis pesados como o Urânio. Resultante desse processo ocorre uma grande liberação de energia, além de mais nêutrons e radiação, por meio de conversão de massa em energia (relação $E = mc^2$). Esse

procedimento é aplicado tanto em usinas nucleares (fissão controlada) quanto em dispositivos bélicos (fissão descontrolada). Já na fusão nuclear, dois ou mais de pequenos núcleos se fundem para formar um núcleo maior e mais pesado. Esse processo explica a emissão de energia do Sol e das outras estrelas, locais em que elevadas temperaturas e pressão, condições necessárias para que a fusão ocorra, são encontradas.

Quando exploramos os elementos fundamentais da matéria e os mistérios do Universo, surgem questões profundas sobre a origem, estrutura e o destino do cosmos. As partículas fundamentais são as menores unidades da matéria conhecida, enquanto a cosmologia se dedica ao estudo do universo em sua escala mais ampla. É importante notar que, apesar disso, a Física em escala microscópica desempenha um papel crucial na compreensão da natureza do universo em escala maior. Perguntas como “Quais são os elementos fundamentais da matéria?” e “Como o universo teve início?” nos extingam a explorar a Física em suas escalas mais elementares e, ao mesmo tempo, a mergulhar nas profundezas da Cosmologia para desvendar o passado, o presente e o futuro do nosso universo.

Esse breve panorama conceitual e histórico estruturante dos conhecimentos gerados a partir de 1900 constitui-se como campo didático de ensino de Física a abordagem desses conteúdos no campo da Física Moderna e Contemporânea cujo objetivo não é apenas atualizar o currículo, mas dar condições aos alunos para compreender o mundo que nos rodeia e habilidades para enfrentar e tomar decisões conscientes no que tange os desafios do século XXI. Como vimos, desde o desenvolvimento da Física durante o século XIX, revolucionou-se a nossa compreensão do Universo, desafiando nossa intuição e nos levando a questionar a realidade de maneira inesperada. Dessa forma, acreditamos que esse processo estimula o pensamento crítico, a curiosidade e a capacidade de fazer perguntas desafiadoras com características cruciais para o aprendizado ao longo da vida.

Além disso,

Alguns aspectos da chamada Física Moderna são indispensáveis para permitir aos jovens adquirirem uma compreensão mais abrangente sobre como constitui a matéria, de forma que tenha contato com diferentes e novos materiais, cristais líquidos e lasers presentes nos utensílios tecnológicos, ou com o desenvolvimento da eletrônica, dos circuitos integrados e dos microprocessadores (Brasil, 2002, p. 70).

Portanto, a FMC desempenha um evidente e fundamental papel nas aplicações tecnológicas em diversas áreas do nosso dia a dia, na fronteira do conhecimento estão intimamente ligados à FMC o que reforça a necessidade de minimamente oportunizar a

apresentação dos conceitos fundamentais na Educação Básica, também um meio para provocar questionamentos filosóficos sobre a complexidade intrínseca do mundo que nos envolve.

2.2 Há espaço para o ensino de Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica?

A inserção da FMC no contexto educacional brasileiro reflete uma jornada marcada por debates teóricos, avanços institucionais e desafios práticos na sua implementação. Essa trajetória remete-nos à meados das décadas de 1960 e 1970, quando da inserção de projetos estrangeiros de ensino de Física no contexto brasileiro (Alveti, 1999), dentre os quais identifica-se remissões aos referidos conteúdos no *Physical Science Study Committee* (PSSC), e o *Nuffield*. Tais coletâneas influenciaram sobremaneira os projetos nacionais de ensino. Por conseguinte, desde então, como lembra Alveti (1999), a tentativa de inserção dessas temáticas nas coletâneas didáticas nacionais “[...] vem crescendo desde a década de 70 e a produção de vários trabalhos acadêmicos pode ser constatada através do Banco de Dados [...] e pelos catálogos de dissertações e teses [da USP]” (nosso grifo, p.37). Após a década de 1970 viu ainda a emergência de projetos nacionais que eram precursores na introdução de conceitos modernos da Física, dentre os quais o *Projeto de Ensino de Física (PEF)*, o *Projeto Brasileiro de ensino de Física (PBEF)*, o *Física Autoinstrutiva (FAI)* e os fascículos publicados pelo *Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF)* da USP⁴.

Alveti (1999) destaca que, na esteira dessas produções didáticas bem como na emergência de um novo campo de pesquisa em Ensino de Física, diversos eventos que discutiram, em parte, essas novas tendências reuniram pesquisadores da área. O autor registrou a *V Reunião Latino-Americana de Educação em Física*, ocorrida em 1992 em Gramado/RS, na qual um grupo de trabalho em particular

“[...] discutiu o seguinte tema; "A Física Contemporânea no ensino da física e a formação do professor de física". Em suas recomendações finais [constantes nas atas], considerando-se que "a Física Clássica, a Moderna, a Contemporânea e a atual constituem uma unidade.” (grifos nossos, p.38).

Resultantes dessas discussões emergiram diversas sugestões para a formação de professores e produção de materiais didáticos, uma vez que se considerou a necessidade de abordar essas duas frentes de trabalho antes mesmo de se iniciarem os estudos sobre os efeitos das aplicações dos conteúdos de FMC no contexto da Educação Básica. Lembra-nos o autor

⁴ Atualmente esses e muitos outros projetos históricos de ensino de Física, bem como um acervo completo de materiais de apoio ao docente e ao pesquisador de Ensino de Física, podem ser acessados no site do Espaço de apoio, pesquisa e cooperação de professores de Física da USP, pelo site <https://fep.if.usp.br/~profis/>. Acessado em 02 jan./2025.

que inicialmente houve discretas atualizações curriculares nos programas de Física (Alvetti, 1999).

É a partir dos anos 1990 que surgem estudos que investigam a aplicação de conteúdos de FMC na Educação Básica. Tais estudos começaram a se desenvolver quando alguns pesquisadores notaram a desatualização dos currículos escolares comparativamente ao desenvolvimento da Física conforme diagnostica Terrazzan (1992). Segundo Silva e Arengi (2013), os estudos da FMC fornecem subsídios para compreender o desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia. Consequentemente, um currículo desatualizado dificulta aos alunos acompanharem os desenvolvimentos tecnológicos atuais e se posicionarem frente às consequências de tais avanços. O conjunto de conhecimentos que deram origem à FMC permitiram compreender e explicar fenômenos que ocorrem na natureza. Logo, os avanços subsequentes nessas teorias sublinham a importância indiscutível da sua inclusão na Educação Básica, tanto nas salas de aula quanto nos livros didáticos, e são cruciais no processo de formação inicial de professores. Pesquisadores como Moreira (2018) e Ostermann (2000) vêm propondo a necessidade de incorporação do conhecimento da FMC na educação básica, visando sua relevância para a sociedade.

Corroborando com as percepções anteriores, destacamos a revisão sistemática realizada por Ostermann e Moreira (2000) sobre a inserção da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio até aquele momento. Os autores identificaram na literatura (artigos científicos, livros didáticos, dissertações, teses e outros materiais relacionados ao ensino de FMC) importantes tendências e lacunas no campo.

Os autores identificaram seis grandes categorias para caracterizar os trabalhos levantados até então: (1) justificativas para a inserção de FMC no ensino médio; (2) questões metodológicas, epistemológicas e históricas; (3) concepções alternativas dos estudantes sobre tópicos de FMC; (4) propostas testadas em sala de aula; (5) livros didáticos que incorporam FMC; (6) e temas apresentados como divulgação científica ou material de consulta para professores. Os resultados indicavam uma predominância de publicações voltadas para a apresentação de temas de FMC como material de divulgação científica e referência bibliográfica para professores. Em contrapartida, havia uma escassez significativa de estudos que exploraram as concepções alternativas dos estudantes ou que relataram a aplicação de propostas em sala de aula com avaliação de resultados de aprendizagem. Essa lacuna aponta, de acordo com os autores, para uma insuficiência de abordagens práticas que conectem os

conceitos teóricos de FMC com as experiências de ensino-aprendizagem (Ostermann; Moreira, 2000).

Os autores reforçam os argumentos apresentados até aqui ao defenderem que a inserção de FMC no currículo escolar é essencial. Além disso, a atualização curricular pode corrigir a visão ultrapassada e estereotipada da Ciência, apresentada em muitos programas escolares limitada a conteúdos desenvolvidos até o século XIX.

No entanto, identificaram também desafios metodológicos já postos à época: havia discordância entre pesquisadores, por exemplo, sobre a utilização de analogias com modelos clássicos na introdução de FMC bem como a forma, e o momento, de se apresentar os conteúdos aos alunos. Tais controvérsias refletem a complexidade inerente ao ensino de FMC, que exige uma integração cuidadosa entre História e Epistemologia da Ciência, com estratégias didáticas e materiais didáticos atualizados e acessíveis (Ostermann; Moreira, 2000).

A título de exemplo de estudos que discutem a relevância de tais esforços de inserção de FMC no currículo da Educação Básica, destacamos a pesquisa realizada por Silva (2016) que enfatizou a importância de envolver os alunos nas discussões sobre Física Nuclear (FN) em sala de aula. Para o autor, o objetivo é construir com os alunos conhecimentos sobre esta temática e fomentar a sua capacidade de pensamento crítico, bem como a sua participação ativa nos debates sociais. Além disso, Tenório *et al.* (2015) especificaram ainda as áreas da FN que deveriam ser incorporadas nos currículos da Educação Básica abrangendo: a radiação atômica, fissão e fusão nuclear, energia nuclear, física atômica, poluição radioativa, acidentes nucleares, reações nucleares e o processo de emissão de energia no interior de estrelas. Para os autores, a FN, no domínio da Física, é relativamente nova e a sua implementação no ensino secundário tem sido inconsistente. No entanto, o panorama evoluiu com extensas pesquisas e a constante geração de conhecimento nesta área que nortearam o trabalho de muitos pesquisadores na configuração de documentos oficiais que balizariam a partir dali o currículo escolar no Brasil.

Documentos como os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) foram fundamentais nesse processo, oferecendo diretrizes para a abordagem de temas como Efeito Fotoelétrico, Radiação de Corpo Negro, Princípio da Incerteza e Teoria da Relatividade. Esses conteúdos foram justificados pela conexão direta com as tecnologias contemporâneas e pela capacidade de formar cidadãos críticos e engajados em uma sociedade cada vez mais tecnológica. Apesar dessas orientações, as escolas brasileiras enfrentaram inúmeros obstáculos para incorporar efetivamente a FMC. Entre os principais desafios estavam a resistência de professores, muitas

vezes decorrente de uma formação inadequada, e a sobrecarga curricular, que priorizava conteúdos da Física Clássica (Ostermann; Moreira, 1998; Marques *et al.*, 2019).

Ao longo das décadas seguintes, o foco das pesquisas sobre FMC no ensino básico evoluiu. Inicialmente centradas na justificativa de sua inclusão, essas investigações passaram a desenvolver propostas pedagógicas e materiais didáticos para apoiar os professores em sala de aula. O texto de Pereira e Ostermann (2009) aponta que, até aquele momento, a maior parte dos trabalhos relacionados à FMC propunham atividades didáticas (propostas didáticas, bibliografia para professor e levantamento de concepções), embora poucas dessas propostas tivessem sido testadas em contextos reais de ensino-aprendizagem. Essa lacuna revela uma distância entre a teoria e a prática, frequentemente atribuída às condições limitadas das escolas públicas e ao déficit na formação inicial e continuada dos professores.

Além disso, a formação docente mostrou-se crucial para o sucesso da implementação da FMC. Projetos de formação inicial e continuada destacaram a necessidade de capacitar os educadores para enfrentar os desafios epistemológicos e pedagógicos associados ao ensino desses conteúdos. Entre as dificuldades identificadas estão a utilização de analogias clássicas inadequadas e a simplificação excessiva de conceitos avançados, o que pode levar a distorções no entendimento (Ostermann e Moreira, 2000).

De acordo com Figueira (2014), a justificativa para a inserção de FMC está diretamente relacionada à necessidade de atualizar os currículos escolares, enfatizando a relação CTS. A abordagem CTS é descrita por Figueira (2014) como uma estratégia para integrar os conteúdos científicos ao cotidiano dos alunos e promover reflexões críticas sobre o impacto da ciência moderna no mundo contemporâneo. Tal abordagem é frequentemente destacada como uma estratégia eficaz para contextualizar o ensino de FMC, contribuindo para o desenvolvimento do pensamento crítico e da alfabetização científica dos estudantes por meio da exploração de temas como as aplicações tecnológicas e as implicações sociais e ambientais da Ciência moderna. Por meio dessa integração, busca-se promover uma visão da Ciência como um empreendimento humano, historicamente situado e diretamente ligado à sociedade, afastando-se de perspectivas puramente tecnicistas ou descontextualizadas.

Em particular, a inclusão de tópicos de FMC sob a ótica CTS permite que os alunos compreendam os desafios e dilemas éticos associados às descobertas científicas, como os avanços na Física Nuclear e seus impactos tecnológicos e ambientais. Essa abordagem também reforça a importância de formar cidadãos críticos e participativos, capazes de avaliar, participar

e influenciar debates públicos sobre Ciência e Tecnologia. Ao considerar a Ciência não apenas como um conjunto de conceitos, mas como uma prática social com consequências amplas, a abordagem CTS enriquece o currículo. Como ressaltam Ostermann e Moreira (2000), a Ciência deve ser compreendida não apenas em seus aspectos técnicos, mas também em suas dimensões humanas e éticas, portanto em contexto mais amplo do que o tecnicismo teórico.

A literatura analisada para este trabalho aponta para perspectivas promissoras para a integração da FMC na Educação Básica. A adoção de abordagens interdisciplinares que conectam Ciência, Tecnologia e Sociedade tem demonstrado ser eficaz para contextualizar os conteúdos. Tecnologias educacionais, como laboratórios virtuais e simulações computacionais, oferecem ferramentas acessíveis e inovadoras para superar as limitações estruturais de muitas escolas. Há também diversas proposições de experimentos de baixo custo que permitem ilustrar alguns dos fenômenos de FMC, como o Efeito Fotoelétrico.

Apesar dessas potencialidades, é necessário considerar o curto tempo disponível para o cumprimento dos conteúdos programáticos de Física nas grandes curriculares dos estados. Assim é necessário observar uma necessária articulação no ensino da Física Clássica e a FMC, como nos alerta Terrazan (1992):

A compatibilidade do estudo da Física Clássica e da Física Moderna, dentro da mesma programação de três anos de 2º grau, talvez seja o problema mais difícil a ser enfrentado, de modo a garantir a aceitação e, conseqüentemente, as chances de sucesso de uma reformulação do tipo proposto (p. 212).

Apesar desses avanços, os desafios persistem. O conflito entre a necessidade de incorporar temáticas modernas e a sobrecarga curricular também permanece um entrave significativo. Soma-se a isso a resistência de alguns educadores, que consideram a FMC abstrata ou de difícil aplicabilidade no cotidiano escolar (Ostermann; Moreira, 2000).

Em conclusão, a implementação da Física Moderna e Contemporânea na educação básica brasileira é um processo contínuo, que demanda esforços integrados de todos os atores envolvidos no sistema educacional. Conforme Marques *et al.* (2019) destacam, "[...] a integração da FMC torna o ensino de Física mais atrativo e alinhado às demandas do século XXI". Por meio de abordagens inovadoras e contextualizadas, a FMC tem o potencial de formar cidadãos melhores preparados para compreender e interagir com o mundo tecnológico, bem como reconstruir uma imagem mais genuína da construção do conhecimento científico e sua relação com a sociedade. Embora os desafios sejam expressivos, o potencial da FMC para aproximar os estudantes das ciências modernas, fomentar o pensamento crítico e formar

cidadãos conscientes do mundo tecnológico em que vivem torna sua inclusão um objetivo imprescindível para a educação brasileira.

2.3 A educação científica na perspectiva CTS

A educação científica na perspectiva CTS⁵ é uma abordagem pedagógica e interdisciplinar que visa integrar os conceitos de ciência, tecnologia e sociedade no processo de ensino e aprendizagem, sendo esses três elementos fundamentais da vida contemporânea (Fernandes, 2011). A autora reconhece a interdependência desses três elementos e busca promover uma compreensão mais profunda das complexas relações entre eles. Nesse contexto, o enfoque CTS busca ir além do ensino tradicional de Ciência, que muitas vezes se concentra apenas na transmissão de fatos e teorias. Em vez disso, ela enfatiza a importância de analisar como a ciência e a tecnologia impactam (e são impactados por) a sociedade.

Um dos principais objetivos dessa abordagem é promover o pensamento crítico e a tomada de decisões informadas. Isso significa que os estudantes são encorajados a questionar as implicações éticas, sociais e ambientais das descobertas científicas e das inovações tecnológicas (Fernandes, 2011). Ainda de acordo com a autora, o objetivo é promover o “[...] ensino das ciências capaz de desenvolver nos alunos capacidades de elevado nível de abstração que lhes permitam envolver-se criticamente com a ciência, e no seu dia a dia” (Fernandes, 2011, p. 876). Espera-se que os alunos aprendam a considerar as consequências de suas ações e sobre a sociedade, e a avaliar como a ciência e a tecnologia podem ser usadas para resolver problemas reais da sociedade.

Como exemplo de aplicação desta perspectiva, a pesquisa realizada por Poffo (2001) diz respeito a uma aplicação sobre a energia nuclear com enfoque CTS, por meio de redações feitas pelos alunos, questionários sobre o tema e dinâmicas. Essa abordagem, de acordo com o autor, desempenhou um papel significativo no aprimoramento do ensino de Física, promovendo uma cultura mais científica e contribuindo para a formação nesse campo. Os alunos puderam interagir com o conhecimento físico relacionado à energia nuclear, sem se salvarem dos elementos científicos, tecnológicos e sociais que envolvem e associados ao objeto de estudo proposto (Poffo, 2001). Revela-se como característica essencial a sua ênfase na contextualização, em que se reconhece que a ciência e a tecnologia não são neutras, mas são

⁵ Para fins de simplificação, passaremos a nos referir apenas como educação, abordagem, perspectiva ou ainda enfoque/ênfase CTS. Compreendemos que o movimento CTS não se restringe à perspectiva educacional, e sim a um “[...] movimento social mais amplo de discussão pública sobre políticas de ciência e tecnologia (CT) e sobre o propósito da tecnociência” (Santos, 2011, p. 21).

orientadas a partir de valores, culturais, econômicos e, por vezes, movida por interesses humanos.

A perspectiva CTS também enfatiza a importância da participação ativa dos alunos no processo de aprendizagem. Isso pode incluir projetos práticos, discussões em grupo e análises de casos do mundo real (Fernandes, 2011). Os alunos são incentivados a colaborar, debater e buscar soluções para questões complexas que envolvem ciência, tecnologia e sociedade. Além disso, a perspectiva CTS também reconhece a necessidade de um ensino interdisciplinar, que integre diferentes áreas do conhecimento. Ela promove a colaboração entre professores de ciências, humanas, ética entre outros campos, para que os alunos tenham uma visão mais abrangente e holística.

A grande finalidade da educação em Ciências numa perspectiva CTSA⁶ (Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente) é dar à Ciência uma visão integrada, relacionando-a com a Tecnologia e evidenciando os impactos que estas têm na Sociedade e no Ambiente, bem como a influência que a Sociedade/Ambiente tem no desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia. Atualmente, a Ciência e a Tecnologia formam um conjunto de realidades tão vinculadas que se torna difícil separá-las, e que está presente em quase todos os aspectos da nossa vida (Fernandes, 2011, p. 876).

A história do movimento CTS no contexto educacional brasileiro remonta às décadas de 1970 e 1980, quando essa abordagem começou a ganhar força no país. A década de 1970 foi um período de mudanças significativas no Brasil, marcada por movimentos sociais, lutas pela democracia e desenvolvimento econômico acelerado. Nesse contexto, surgiram debates sobre o papel da ciência e da tecnologia na sociedade e sobre como esses campos poderiam ser mais responsivos às necessidades do país. A primeira Conferência Nacional de Ciências e Tecnologia, realizada em 1973, desempenhou um papel crucial no início da abordagem CTS no Brasil. Nesse evento, ocorreram discussões sobre a necessidade de uma visão mais crítica, e a partir daí começou a se formar uma comunidade de acadêmicos, pesquisadores e ativistas específicos em torno deste esforço.

No Brasil, como em outros países da América Latina, as reflexões sobre as relações entre ciência, tecnologia e sociedade ganharam fôlego nos anos 1960-1970. Entretanto, o desenvolvimento acadêmico do campo CTS só se iniciou timidamente a partir dos anos 1980 e, ainda hoje, as universidades brasileiras possuem um número bastante reduzido de programas de educação superior inteiramente dedicados ao estudo das inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade, e esses se localizam quase exclusivamente no nível da pós-graduação (Invernizzi; Fraga, 2007, p.1).

⁶ O termo CTSA, que inclui a dimensão ambiental à perspectiva da Educação em Ciência, Tecnologia e Sociedade, tem sido frequentemente referido nas obras da área de Ensino e Educação, especialmente após a emergência da Educação Ambiental enquanto área de conhecimento. Para este texto, no entanto, manteremos o termo CTS, que é, ainda, mais recorrente, para se referir ao movimento iniciado no final do século XX. Contudo, isso não significa que consideremos a perspectiva ambiental como em último plano.

García, Cerezo e Luján (1996) argumentam que a pesquisa CTS constitui múltiplos campos filosóficos, sociológicos e históricos, enfatizando as dimensões sociais da ciência e da tecnologia. Ainda no contexto brasileiro, o enfoque CTS é projetado para ajudar os alunos a compreender e aplicar conhecimentos científicos básicos para participar ativamente na sociedade contemporânea (Santos, 1992). Ainda de acordo com o autor, uma questão central é identificar os objetivos da abordagem CTS e implementá-los no sistema educacional brasileiro. Enfatiza a necessidade de estabelecer uma perspectiva CTS específica, desenvolver materiais de ensino apropriados e fornecer formação adequada aos professores para implementar esta abordagem educativa.

Segundo Santos (1992), no contexto da aplicação da perspectiva CTS no Brasil, alguns estudos focam principalmente na ciência, enquanto outros focam na tecnologia, e alguns focam na sociedade. No entanto, as interligações entre estes três elementos raramente são totalmente exploradas. Apesar das diferenças entre as distintas aplicações, podem ser encontrados pontos em comum ao examinar os fundamentos teóricos destes estudos. A sua visão partilhada é o desenvolvimento de cidadãos críticos, a integração dos alunos na sociedade, a procura de significado na ciência escolar e a contextualização do conhecimento científico. Esta abordagem reflete até certo ponto a essência da abordagem CTS, embora permita diferentes interpretações (Strieder, 2012).

Nesse contexto, reitera-se que este estudo propõe detectar e analisar a inserção, quando houver, de temas sobre FMC em obras do PNLD 2022 a partir de uma perspectiva de educação CTS. Para esse fim, utilizamos um instrumento de análise baseado nos estudos de Oliveira *et al.* (2018) e Fernandes (2011) que avaliaram livros didáticos do Ensino Básico nas disciplinas de Ciência da Natureza. Passaremos a discutir tais contribuições.

Oliveira *et al.* (2018), também em trabalhos anteriores⁷, apresentaram indicadores que permitiriam avaliar discursos e atividades direcionadas às abordagens CTS contidas em manuais didáticos de Química de Portugal. Nesse estudo, os indicadores filiam-se à macro categoria intitulada *Elementos de concretização do processo de Ensino/Aprendizagem* que permite explorar conteúdos e atividades oferecidos pelos livros didáticos para a educação

⁷ Destacamos Alves (2005), Fernandes (2011), Costa *et al.* (2017) e Oliveira *et al.* (2018). A rigor, esses trabalhos citados representam distintos arranjos entre um mesmo grupo de pesquisadores que realizaram, a partir do instrumento proposto, análises de manuais de Química em Portugal.

científica em CTS. Filiadas a essa macro categoria, duas subcategorias (ou dimensões) emergem: *Discurso/Informação* (com foco na dimensão conceitual) e *Atividade de ensino e aprendizagem* (com foco na dimensão procedimental), ambas detalhadas a seguir.

A dimensão *Discurso/Informação* engloba um conjunto de características de textos, ilustrações e outros elementos gráficos apresentados nos livros didáticos com objetivo de informar, explicitar e aprofundar as relações entre ciência, tecnologia e sociedade durante a elaboração do conteúdo. Esses textos podem incluir relatórios sobre práticas experimentais, discussões sobre questões sociais relevantes e outras fontes de conhecimento que contribuam para a formação integral do educando. Como aplicações de textos com as características dessa dimensão, explora-se, potencialmente, temas como os benefícios e limitações da aplicação da ciência e da tecnologia no contexto social atual à exploração de recursos ambientais por exemplo. Dessa forma, objetiva-se estimular, nos alunos, a capacidade de tomada de decisões nas áreas que envolvem não apenas aspectos técnicos, mas também considerações sociais, éticas, econômicas e políticas. Além disso, dá ênfase à discussão sobre as imagens da ciência, bem como o estabelecimento de ligações entre o conhecimento científico adquirido através do estudo e as suas aplicações práticas. Essa incorporação de elementos éticos, estéticos, econômicos e políticos incentiva os indivíduos a formar opiniões sobre processos e produtos tecnológicos.

Já a dimensão *Atividade de ensino/aprendizagem* compreende, como sugere o nome, a caracterização de atividades e estratégias envolventes e instigantes que mostram a aplicação de habilidades de pensamento analítico e métodos de ensino que explorem as imbricadas relações entre ciência, tecnologia e sociedade. Para tanto, são fornecidos problemas ilustrativos nesta dimensão, incluindo aquelas que promovem discussões, debates ponderados, simulações e exames aprofundados de materiais e o estímulo às pesquisas. O Quadro 3 a seguir elenca esses indicadores, bem como ilustra possíveis aplicações nas discussões do ensino de FMC.

Quadro 3: Instrumento de análise da abordagem CTS adaptado e exemplificado para o ensino de FMC.

Categoria	Dimensão	Indicadores
Elementos de concretização do processo de ensino e aprendizagem	Discurso/Informação (conceitual)	(A1) <i>Explorar os tópicos de FMC em função da utilidade social.</i> (Ex: papel das usinas fotovoltaicas, uso de Física Nuclear para exames de imagem e tratamentos oncológicos...). (A2) <i>Mostrar que o trabalho dos cientistas é, muitas vezes, influenciado por pressões sociais, políticas, religiosas e econômicas, em especial o contexto de desenvolvimento da FMC.</i> (Ex: o projeto Manhattan e o conceito de Guerra nas Estrelas, a teoria do Big Bang e o criacionismo...). (A3) <i>No que concerne à relação Ciência e Tecnologia relacionadas à FMC, encorajar os estudantes a: (i) levantar ideias autônoma e voluntariamente; (ii) mudar as suas opiniões; (iii) fazer analogias; (iv) dar explicações.</i> (Ex: analisar o funcionamento de dispositivos tecnológicos usuais como relés, debater e analisar a aplicação de Física Quântica no contexto dos computadores quânticos...). (A4) <i>Permite desenvolver uma atitude crítica e fundamentada cientificamente, em especial utilizando elementos da FMC, perante problemas sociais e ambientais.</i> (Ex: discutir a dependência do uso de energia nuclear e os impactos ambientais e éticos envolvidos, compreender as potencialidades do uso de nanotecnologia em áreas como a medicina, purificação de água e energia renovável...). (A5) <i>Oferecer exemplos de tecnologias e produtos recentes que se utilizam de elementos da FMC e são aplicados na vivência diária.</i> (Ex: o funcionamento de smartphones baseados nos estudos de estado sólido, displays de LED, OLED e semicondutores...). (A6) <i>Informar o aluno sobre as vantagens e limites da aplicação da Ciência e da Tecnologia e os seus impactos na Sociedade e no Ambiente, particularmente no contexto do desenvolvimento da FMC.</i> (Ex: exposição de benefício e riscos ambientais no uso da energia nuclear, desenvolvimento de novas tecnologias da medicina diagnóstica bem como a reflexão social de acerca do acesso da sociedade em geral a esses recursos...). (A7) <i>Identificar diferentes realidades tecnológicas com uso da FMC, evidenciando como elas mudam a forma de viver das pessoas e como essas mudanças estão na origem de outras realidades sociais.</i> (Ex: a internet e a conectividade global favorecidas por ondas eletromagnéticas e sua propagação nos diversos meios, a computação quântica enquanto avanço no processamento de dados e os benefícios decorrentes ...). (A8) <i>Relatar práticas experimentais de FMC explicitando os métodos utilizados, clarificando as etapas e o porquê das decisões tomadas confrontando os resultados com as possíveis pela Sociedade.</i> (Ex: reprodução de experimentos sobre efeito fotoelétrico e utilizações interferência de fótons em uma fenda dupla a partir do experimento de Young com luz ...). (A9) <i>Apresentar informação proveniente de várias áreas do saber, científico e tecnológico relacionados à FMC, que exige/fomenta a compreensão da interação CTS bem como o pensamento crítico.</i> (Ex: a relação entre Física, engenharia e ética no uso da energia nuclear, o uso de nanotecnologias visando a sustentabilidade em diálogo com os conhecimentos de Química, Física e Ecologia...).

Quadro 3: Instrumento de análise da abordagem CTS adaptado e exemplificado para o ensino de FMC. (cont.)

Categoria	Dimensão	Indicadores
Elementos de concretização do processo de ensino e aprendizagem	Atividade e de ensino e aprendizagem (procedimental)	(B1) <i>Apresentar propostas que levam ao envolvimento do aluno em projetos promotores de capacidades de pensamento crítico sobre questões relacionadas ao desenvolvimento da FMC em que se manifesta a interação CTS.</i> (Ex: propostas de investigação sobre fontes de energia e aspectos relacionados à sustentabilidade, debates sobre avançadas tecnologias diagnósticas incluindo questões sobre acesso, segurança e custos...). (B2) <i>Propor atividades diversificadas de simulação da realidade, levando o aluno a pôr-se no lugar do outro, a resolver problemas, a realizar debates, discussões, pesquisas sobre questões que manifestam a interação CTS, a FMC e o apelo explícito a capacidades de pensamento crítico.</i> (Ex: proposição de debates simulados sobre a exploração mineral espacial, de pesquisa de campo sobre a poluição luminosa advinda da massificação dos painéis de LED buscando soluções para mitigação dos riscos levantados...). (B3) <i>Propor a realização de atividades (práticas, experimentais no laboratório ou em sala de aula) sobre FMC para se explorar, compreender e avaliar as inter-relações CTS, nomeadamente aquelas que podem vir a interferir na vida pessoal dos estudantes e no seu futuro.</i> (Ex: experimento do efeito fotoelétrico debatendo a relação custo-benefício socioambiental para a tecnologia envolvida e a geração de energia em larga escala, estudo sobre o uso e a ciência envolvida nas baterias de lítio e seus benefícios, malefícios, sociais e ambientais...). (B4) <i>Apresentar situações de aplicação ao dia a dia dos novos conhecimentos de FMC em que se fazem presentes as interações CTS no final das atividades propostas.</i> (Ex: aplicação da física de partículas na irradiação de alimentos, estudo da polarização da luz e suas aplicações em comunicações quânticas e a segurança digital...). (B5) <i>Apresentar situações de aplicação diária dos novos conhecimentos de FMC.</i> (Ex: uso do LED para iluminação residencial eficiente, funcionamento e calibragem do GPS...).

Fonte: Adaptado de Oliveira *et al.* (2018).

Em síntese, apresentamos considerações das pesquisas em Ensino de Física nas últimas décadas que reforçaram a necessária implementação de conteúdos de FMC no segmento final da Educação Básica, com o objetivo de proporcionar ao aluno uma visão ampla sobre os fenômenos naturais na maioria das vezes invisíveis nas escalas de realidade em que vivemos. Ao mesmo tempo, discutimos contribuições da abordagem CTS ao ensino de FMC na perspectiva da alfabetização científica dos alunos. Para além de contextualização e interdisciplinaridade, a ênfase CTS requer fomento às discussões aprofundadas e amparadas na(s) realidade(s) dos sujeitos sobre os conceitos e suas relações com os artefatos tecnológicos usuais e o estímulo às reflexões e intervenções dos sujeitos na sua realidade social. Passaremos a descrever como a abordagem CTS é prevista em documentos curriculares brasileiros e na política pública do Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD), que servem como orientadores da prática pedagógica em todas as escolas do Brasil.

2.4 Bases legais e o PNLD: espaço para a educação CTS?

O Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) é desenvolvido pelo Ministério da Educação (MEC) com apoio financeiro do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), normatizado pelo Decreto nº 9.099 de 2017. Uma das atribuições do programa é a avaliação e disponibilização de criações didáticas, pedagógicas e entre outros materiais de suporte para a prática educativa de forma gratuita para as escolas públicas de Educação Básica sem fins lucrativos e que são conveniadas ao Estado.

A atual legislação estipula que os programas de estudos do Ensino Médio devem seguir os princípios estabelecidos pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC), a qual delineia as competências essenciais que os alunos devem adquirir ao longo de sua jornada na Educação Básica, seja ela pública ou privada. A BNCC trouxe consigo alterações substanciais, foi a extensão da carga horária do Ensino Médio, que passou de 2400 horas para 3000 horas. A ampliação da carga horária veio acompanhada de uma reconfiguração na estrutura curricular, com a introdução de uma divisão entre a Formação Geral Básica e a Formação Específica. Tal reestruturação implica que o total de horas foi distribuído entre a Formação Geral Básica, que possui uma carga horária máxima de 1800 horas, e a parte flexível do currículo, composta por Itinerários Formativos, perfazendo uma carga horária mínima de 1200 horas (Ribeiro, 2021).

Importante notar que cada escola tem a independência necessária para definir como essa parte flexível será implantada e conduzida. Os Itinerários Formativos representam uma variedade de opções disponíveis para os estudantes durante o seu curso, que podem incluir disciplinas, projetos, oficinas, grupos de estudos e diversas outras formas de atividades educacionais (Brasil, 2017). De acordo com o documento orientador, a principal finalidade dos Itinerários Formativos é proporcionar uma oportunidade de aprofundamento em uma ou mais das quatro áreas do conhecimento sendo elas: Linguagens e suas Tecnologias, Matemática e suas Tecnologias, Ciências da Natureza e suas Tecnologias, Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, e Formação Técnica e Profissional.

Um ponto que tem gerado bastante debate diz respeito ao número e diversidade de Itinerários Formativos que cada escola pode disponibilizar. A Lei nº 13.415 de 2017 não estabelece, até o momento em que este trabalho é apresentado, um número específico de Itinerários Formativos que devem ser oferecidos em todas as áreas do conhecimento. Portanto, as escolas não são obrigadas a disponibilizar todos os cinco itinerários, mas devem, no mínimo, oferecer um deles. Isso significa que a oferta específica do(s) itinerário(s) formativo(s) fica a cargo da rede de ensino, e aos alunos resta adaptarem-se às opções disponíveis. Surge, então,

uma reflexão sobre a responsabilidade da escolha pessoal do aluno em relação ao seu projeto de vida.

A citada lei trouxe uma mudança substancial relacionada à implantação das escolas em tempo integral, embora essa não seja uma exigência para todas as instituições de ensino. Essa legislação promove a adoção desse modelo por muitas escolas, no entanto, é fundamental que haja investimentos e objetivos que coloquem os alunos no centro do processo de aprendizagem. Isso implica considerar suas características individuais, promover sua autonomia, valorizar suas opiniões e desenvolver suas habilidades, entre outros aspectos (Ribeiro, 2021). É crucial também que o ambiente escolar esteja alinhado com os interesses dos alunos e que a escola os inclua ativamente, permitindo que participem das atividades de forma colaborativa.

Como mencionado anteriormente, o Novo Ensino Médio trouxe consigo uma série de alterações na estrutura educacional anterior, incluindo no PNLD, cuja primeira edição que reflete tal perspectiva foi, justamente, o edital 2021, com distribuição às escolas em 2022. Nas edições anteriores, os materiais didáticos do PNLD eram organizados de acordo com os diferentes componentes curriculares, como Física, Química, Matemática, História, dentre outros. Além da organização por áreas de conhecimento, os livros destinados aos alunos daquele segmento, agora, são compostos por seis volumes para cada área, abordando explicitamente as competências gerais, específicas e habilidades de cada uma delas.

O novo currículo de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, alinhado às diretrizes da BNCC, tem como objetivo estabelecer um diálogo não apenas dentro da própria área de conhecimento, mas também com outras disciplinas (Brasil, 2017). Busca-se, cada vez mais, promover novas formas de interação no contexto pedagógico, criando oportunidades para a construção de ideias e promovendo discussões que incentivem os alunos a desenvolverem habilidades argumentativas, a expressarem suas opiniões e a exercerem o pensamento crítico. Dessa forma, a ideia é que a essa abordagem contextualizada permita a eles reconhecerem a relevância dos assuntos ensinados no contexto de suas próprias vidas.

Os documentos discutidos aqui foram considerados à luz de seus contextos de discussão, construção e aprovação, compreendendo que, como lembra Monteiro (2021), são produtos de uma sociedade, de uma época e de um ambiente social específico. Visam contemplar a diversidade de identidades e a fluidez delas, com o objetivo de formar cidadãos críticos, reflexivos e engajados nas questões contemporâneas. É importante ressaltar que esses desempenham um papel crucial na organização do ensino em geral, e no ensino de Física em

particular, ao direcionar os objetivos, propostas e temas a serem envolvidos nas salas de aula de todas as escolas do país.

Tais políticas curriculares estabelecem a meta de criar um ambiente educacional mais inclusivo e alinhado com as necessidades e desafios do século XXI, promovendo uma educação de qualidade que prepare os estudantes para enfrentar os desafios do mundo contemporâneo. Discutir os documentos oficiais que regulamentam o ensino é fundamental para entender a estrutura da educação e as expectativas a ela associadas. A partir da formulação desses documentos, a organização curricular, e por conseguinte o processo de ensino e aprendizagem, se organizam em direção a uma abordagem abrangente e contextualizada, que leva em consideração e atende as necessidades individuais de cada aluno. Para ilustrar algumas das características dessas bases legais, em especial a remissão (explícita ou não) aos conteúdos de FMC na perspectiva CTS, realizamos uma sintética comparação entre os PCN (e sua complementação), as DCN e a BNCC, ilustrado no Quadro 4 a seguir.

Quadro 4: Mapeamento de bases legais da educação nacionais e sua correlação com o ensino de Física.

Dimensão de Análise	PCN (1997)	PCN+ (2002)	DCN (2013)	BNCC (2017/2018)
Objetivos	Normatiza e orienta os currículos escolares, promovendo flexibilidade local.	Recomenda o aprofundamento da abordagem interdisciplinar e integradora para o Ensino Médio.	Fornecer diretrizes obrigatórias para o planejamento curricular em todas as etapas e modalidades de ensino.	Estabelecer um conjunto integrado de aprendizagens essenciais para o desenvolvimento de competências.
Propostas metodológicas para o ensino de Física	Enfatiza o uso de contextos do cotidiano e atividades práticas para facilitar a aprendizagem de conceitos fundamentais.	Propõe a aplicação de metodologias ativas e resolução de problemas com integração CTS.	Incentiva práticas interdisciplinares e contextualizadas, focando em investigações científicas e reflexão ética.	Promove atividades experimentais, simulações digitais e projetos interdisciplinares para desenvolver competências CTS.
Remissões de FMC	Introduz conceitos básicos como energia nuclear e modelos atômicos de forma contextualizada.	Amplia para temas como radioatividade, relatividade e aplicações tecnológicas.	Foca em relacionar avanços científicos e suas aplicações sociais, como energia limpa e tecnologias médicas.	Enfatiza tecnologias modernas (GPS, diagnósticos médicos) e conceitos como física quântica e relatividade no Ensino Médio.
Perspectiva CTS	Explora as conexões entre ciência, tecnologia e sociedade de forma introdutória.	Amplia o foco CTS, relacionando conceitos a problemas éticos e sociais.	Insere a CTS como eixo central, promovendo a tomada de decisão crítica baseada em ciência.	Estrutura a CTS como uma competência geral, abordando impactos éticos, sociais e ambientais das descobertas científicas.

Fonte: elaborada pela autora.

Como exemplificações das redações que articulam a metodologia do ensino de Física aos conteúdos CTS nos PCN encontramos como objetivo a necessidade de articular os conhecimentos científicos “[..] numa perspectiva interdisciplinar; utilizar elementos e conhecimentos científicos e tecnológicos para diagnosticar e equacionar questões sociais e ambientais.” (Brasil, 1997, p. 27). Entendimento análogo é encontrado no PCN+ ao que estabelece como alguns dos objetivos do ensino de Física na Educação Básica "Compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social." (Brasil, 2002) e "Reconhecer e avaliar o desenvolvimento tecnológico contemporâneo, suas relações com as ciências, seu papel na vida humana, sua presença no mundo cotidiano e seus impactos na vida social." (*ibid*, p. 35).

As DCN e a BNCC não devem ser consideradas como substitutos das orientações contidas nos PCNs de 1997 e 2002. Em vez disso, elas desempenham o papel de orientar o processo de revisão curricular, levando em consideração a legislação atual vigente. No caso das DCN, enfatizava-se que a formação de cidadãos críticos, capazes de compreender os impactos da ciência e da tecnologia na sociedade e de agir com responsabilidade em relação a problemas ambientais e sociais (Brasil, 2013). Além disso, ao assinalar que “O desenvolvimento da tecnologia visa à satisfação de necessidades que a humanidade se coloca, o que nos leva a perceber que a tecnologia é uma extensão das capacidades humanas” (*ibid*, p. 162) retoma a necessária discussão, ainda na Educação Básica, do papel das tecnologias no desenvolvimento humano. Tal abordagem pode dialogar com os tópicos de FMC quando o documento estabelece que “A partir do nascimento da ciência moderna, pode-se definir a tecnologia, então, como mediação entre conhecimento científico (apreensão e desvelamento do real) e produção (intervenção no real).” (*ibid*, p.162).

Como demonstram os PCN e as DCN, ao longo de duas décadas, houve avanços significativos e a introdução de novos elementos no cenário educacional brasileiro (Brasil, 2019) e, nesse contexto, a BNCC se destaca, como discutido, ao acrescentar, integrar e introduzir novos aspectos e práticas que tem como objetivo ampliar a abordagem dos temas nas escolas.

Nota-se, portanto, que as propostas de abordagem contidas nos documentos oficiais anteriormente citados conduzem a uma proposta ênfase curricular não apenas contextualizada, mas em certa medida emancipadora que proporcione um sólido processo de alfabetização

científica para instrumentalizar o educando com ferramentas teórico e práticas para se posicionar criticamente ante as crescentes demandas da sociedade. Sendo assim, consideramos, como explicitado em diversos trechos dos documentos, que tal abordagem curricular esteja inspirado nos pressupostos da educação científica na perspectiva CTS, tal como indicado no Quadro 2.

3. METODOLOGIA DE ESTUDO E ANÁLISE DE DADOS

Este estudo, que considerou a análise da abordagem de conteúdos de FMC em livros didáticos do PNLD, pode ser compreendido como uma pesquisa qualitativa de ênfase de análise documental. Uma pesquisa qualitativa, de acordo com Godoy (1995), “[...] não se apresenta como uma proposta rigidamente estruturada, ela permite que a imaginação e a criatividade levem os investigadores a propor trabalhos que explorem novos enfoques” (p. 21). Nesse contexto, é importante destacar que a pesquisa qualitativa pode ser inovadora e trazer contribuições significativas para pesquisas sobre diversos temas. Além disso, os documentos são frequentemente considerados uma importante fonte de dados para outros tipos de investigação.

Para a análise dos dados levantados na pesquisa, utilizou-se a técnica da Análise de Conteúdo (AC). Segundo Bardin (2016), trata-se de um conjunto de técnicas de análise das comunicações que visa obter, por meio de procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo dos textos (neste caso), indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção dessas mensagens.

Essa definição reflete a abordagem metodológica da AC, enfatizando a organização e a interpretação criteriosa de dados qualitativos para extrair sentido e significado dos textos analisados. A AC, na concepção apresentada por Bardin (2016), é composta por três fases: a pré-análise, a exploração do material e o tratamento dos resultados e interpretação.

A pré-análise consiste na etapa inicial de organização do material. Envolve a leitura flutuante para familiarização com os dados, a definição dos objetivos da análise e a formulação de hipóteses. Também inclui a escolha dos documentos a serem analisados e o estabelecimento de critérios de categorização.

Para este trabalho buscamos analisar as inserções de FMC em uma abordagem CTS contida em livros do PNLD 2021 – Objeto 2 – Obras específicas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. No edital em questão, 4 (quatro) editoras foram aprovadas no edital (Moderna, FTD, Scipione e SM) ofertando 7 (sete) coletâneas às escolas públicas brasileiras, conforme mostra o Quadro 4. por meio do site do Guia Digital do PNLD/2021⁸.

⁸ Disponíveis em: https://pnld.nees.ufal.br/pnld_2021_didatico/inicio. Acesso em 28 nov./2024.

O acervo total disponibilizado para este estudo contou com 7 (sete) coletâneas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias distintas, sendo cada uma organizada em 6 (seis) volumes, totalizando 42 (quarenta e dois livros). Para tanto, e considerando a indisponibilidade física das obras, dispusemos de cópias digitais dos livros das coletâneas ofertadas no edital de 2021 para as escolas públicas de Ensino Médio brasileiras. As referências ABNT dessas coletâneas são apresentadas no Quadro 5 a seguir.

Quadro 5: Editoras e coletâneas dos livros escolhidos para a análise.

Editora (código)	Referência da coleção ⁹
Moderna (E1)	SANTOS, K. C.; CHINELLATO, E. A.; SILVA, R. A.; KIMURA, M.; FERRARO, A. C. N. S.. Diálogo : ciências da natureza e suas tecnologias. 1 ed.. São Paulo: Moderna, 2020. 6 v.
SM educação (E2)	FUKUI, A.; NERY, A. L. P.; CARVALHO, E. G.; AGUILAR, J. B.; LIEGEL, R. M.; AOKI, V. L. M.. Ser protagonista : ciências da natureza e suas tecnologias. 1 ed.. São Paulo: Edições SM, 2020. 6 v.
Scipione (E3)	MORTIMER, E.; MACHADO, A. H.; MATES, A. L. L.; PANZERA, A. C.; ALVES, E. G.; MUNFORD, D.; FRANCO, L. G.; MATOS, S. A.. Matéria, energia e vida : uma abordagem interdisciplinar. 1. ed.. São Paulo: Scipione, 2020. 6 v.
FTD (E4)	GODOY, L. P.; DELL' AGNOLO, R. M.; MELO, W. C.. Multiverso : ciências da natureza. 1. ed.. São Paulo: Editora FTD, 2009. 6 v.
Moderna (E5)	LOPES, S.; ROSSO, S.. Ciências da natureza . 1. ed.. São Paulo: 2020. 6 v.
Moderna (E6)	THOMPSON, M.; REIS, H.; ELOCI, P. R.; SANT'ANA, B.; SPINEL, W.; ANTUNES, M, T.. Conexões : ciências da natureza e suas tecnologias. 1 .ed.. São Paulo: Moderna, 2020. 6 v.
Moderna (E7)	AMABIS, J. M.; TORRES, C. M. A.; MARTHO, G. R.; SOARES, J.; FERRARO, N. G.; CANTO, E. L.; PENTEADO, P. C. M.; LEITE, L. C.C.. Moderna Plus : ciências da natureza e suas tecnologias. 1. ed.. São Paulos: 2020. 6 v.

Fonte: elaborado pela autora.

Tendo em mente o tempo curto para a elaboração deste trabalho, optamos por realizar as análises dos conteúdos de FMC na perspectiva CTS proposto por Oliveira *et al.* (2018) em termos das coletâneas mais representativas em termos de adoção nas escolas públicas brasileiras. Para subsidiar essa escolha, acessamos a plataforma do Sistema do Material Didático (SIMAD)¹⁰ vinculado ao Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), entidade responsável pela publicação dos editais do PNLD, compra e controle de distribuição em todos os estados da federação. A plataforma em questão fornece relatórios relacionados à entrega dos materiais didáticos escolhidos pelas escolas, delimitando-se o ano em que os livros

⁹ As obras das coletâneas E1 e E2 não apresentavam os autores nas respectivas fichas catalográficas, e apenas o nome da editora como organizadora da obra. Entendemos ser pertinente fazermos a devida referência aos autores, visto que em movimento analítico subsequente faremos a análise de seus currículos.

¹⁰ Disponível em <https://www.fnde.gov.br/distribuicaosimadnet/>. Acesso em 26 jan. 2025.

do programa foram distribuídos e estabelecendo como filtros indicadores como o estado e o município da federação, a sua esfera de atuação (federal, estadual ou), o tipo de entidade (escola gerais, indígenas etc.), a localização (rural ou urbana), dentre outros critérios.

Buscamos no portal SIMAD as obras referentes ao PNLD distribuídas em 2022 (edital PNLD 2021), estabelecendo-se como critério apenas a indicação dos livros do Objeto 2, tanto para escolas rurais quanto urbanas. Os demais filtros, a saber, a esfera, o tipo de entidade, a localização, o estado e o município não foram utilizados. Os dados gerais foram exportados em planilha para tratamento uma vez que são fornecidos os valores de todas as obras didáticas adotadas no país. Ao todo, foram distribuídos 14.103.293 de livros de Ciências da Natureza e suas Tecnologias em todo o Brasil¹¹. Filtramos os dados por cada uma das 7 coletâneas, somando-se o quantitativo dos 6 volumes distribuídos em cada uma. O resultado é apresentado na Tabela 1 e no Gráfico 1 a seguir, bem como a comparação deste com o valor de livros da área adotados no país.

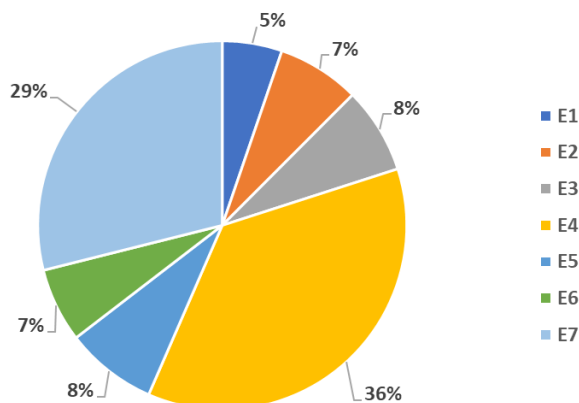
Tabela 1: Número de livros PNLD 2021 – Ciências da Natureza e suas tecnologias distribuídos em 2022 no Brasil.

Coletâneas	Número de livros distribuídos	Valor relativo ao total (%)
E1	739.913	5
E2	1.022.693	7
E3	1.064.251	8
E4	5.146.541	36
E5	1.134.364	8
E6	918.232	7
E7	4.077.299	29
Total	14.103.293	100

Fonte: Dados extraídos da plataforma SIMAD e organizados pela autora.

Gráfico 1: Comparação entre o número de livros, por coletânea, distribuídos no Brasil em relação ao total (%).

¹¹ A título de comparação, em Goiás o volume de livros de Ciências da Natureza distribuídos entre as escolas foi de 407.004 equivalente a 2,9% do total.



Fonte: Dados extraídos da plataforma SIMAD e compilados pela autora.

Depreende-se dos gráficos que as duas obras mais adotadas no Brasil foram das coletâneas E4 e E7 (das editoras FTD e Moderna, respectivamente). Esses dados estão em consonância com a distribuição no estado de Goiás. Neste, e em relação às obras distribuídas nas localizações urbanas, 98,6% correspondem à E4, 0,8% à E7, 0,5% à E5 e 0,1% à E6. Destaca-se que esses últimos três se referem às escolhas realizadas pelas escolas da esfera federal no estado.

Isto posto, consideraremos para a análise mais detalhada das abordagens dos conteúdos de FMC na perspectiva CTS nos volumes das coletâneas E4 e E7, pois juntas equivalem a 65% dos livros adotados nas escolas públicas do Brasil para o quinquênio 2022-2025.

Para a fase de exploração do material, em linha com Bardin (2016) de maneira resumida procede-se ao processo de definição e codificação das *unidades de análise*, que podem assumir tamanhos diversos, desde palavras e frases a temas ou capítulos. Uma vez delineadas as unidades de análise, segue-se a classificação das informações com base em categorias, sejam elas *a priori*, ou seja, oferecidas por um referencial teórico já adotado e orientador das análises, ou *emergentes*, sendo essas criadas a partir de inferências e *insights* dos pesquisadores sobre os dados e a temática. Nesta fase, busca-se identificar padrões, temas ou indicadores que sejam relevantes para os objetivos do estudo, ainda que se faça de estratégias quantitativas para o levantamento de frequência de temas. Por fim, e considerando a última etapa proposta na AC sob a perspectiva de Bardin (2016), passamos ao tratamento dos resultados e suas interpretações. Esta fase envolve a análise e interpretação dos dados organizados na fase anterior. Os resultados são sintetizados e discutidos à luz do referencial teórico e das questões de pesquisa, buscando responder aos objetivos do estudo.

Para este estudo, as unidades de análise foram consideradas como as remissões aos conteúdos de FMC e suas abordagens (teórica e prática) nos capítulos de cada um dos seis volumes das duas coletâneas selecionadas. Por remissões compreendemos parágrafos e, de maneira mais celular, parágrafos que apresentam ou se referem a temáticas de FMC no contexto do livro didático. Esses conteúdos foram identificados e caracterizados com auxílio das descrições contidas especificamente no Quadro 1.

Já em relação às categorias de análise para caracterização das abordagens CTS, optamos, como esclarecido anteriormente, por nos orientar naquelas oferecidas por Oliveira *et al.* (2018) anteriormente discutidas e apresentadas sinteticamente no Quadro 3. Assim, para cada remissão a conteúdos de FMC identificados no texto, procedeu-se a uma avaliação subjetiva da incidência de cada indicador de abordagem CTS no material. Para esclarecer ao leitor o processo de análise, oferecemos alguns exemplos ilustrativos do processo de análise. Os resultados são sintetizados, ao final, em quadros e então discutidos à luz dos referenciais aqui tratados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

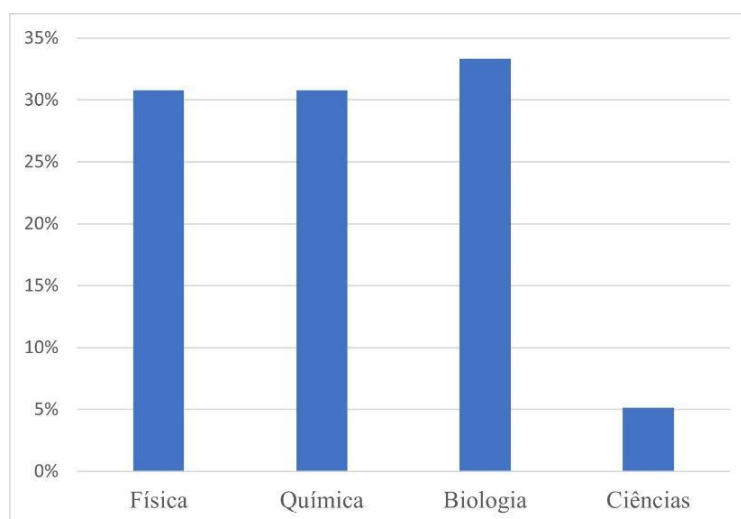
Apresentaremos nesta seção os resultados das análises realizadas visando o atendimento dos objetivos específicos explicitados no estudo. No primeiro movimento, buscamos caracterizar o perfil dos autores das coletâneas indicadas no Quadro 5 em termos de sua formação e aderência aos campos de Ensino de Física/Ciências e/ou Educação. Num segundo movimento, mapeamos os conteúdos de FMC apresentados nas duas coletâneas escolhidas para a análise mais detida (E4 e E7), identificando-se convergências e lacunas. Por fim, e considerando o referencial de Oliveira *et al.* (2018), retomamos os tópicos de FMC detectados nos livros e classificamos as suas abordagens à luz dos indicadores propostos.

4.1. Descrição do coletivo de autores das obras de Ciências da Natureza do PNLD 2021.

Realizamos uma análise preliminar referente às áreas de atuação e formação acadêmica dos autores listados nas obras. Todos os dados foram extraídos da Plataforma Lattes¹², do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) entre os dias 25 e 30/12/2024. Dos 39 (trinta e nove) autores indicados nas fichas catalográficas das obras, sendo 25 (vinte e cinco) homens e 14 (catorze) mulheres, foi possível obter as informações no Lattes de todos. Os currículos foram atualizados em diversas datas, sendo a mais antiga atualização ocorrida em 29/04/2020 e a mais recente em 19/12/2024. Não incluímos para esta análise a formação e área de atuação de editores e/ou organizadores. Buscamos levantar as áreas, níveis de formação inicial e continuada, bem como identificar formações em pós-graduação na área de Ensino de Ciências. Os resultados são oferecidos nos gráficos seguir.

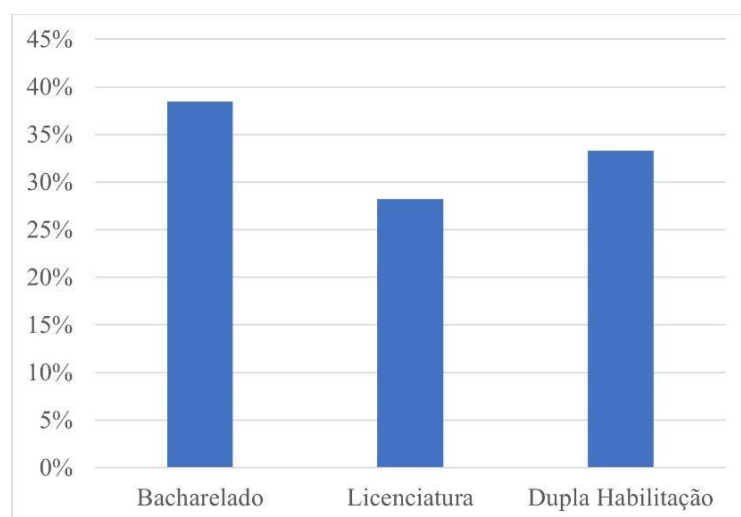
¹² Sistema eletrônico que registra a vida acadêmica e profissional pregressa de estudantes e pesquisadores do país. As informações são declaradas pelos próprios usuários. A plataforma pode ser acessada em <https://lattes.cnpq.br/>. Acesso e 30/12/2024.

Gráfico 2: Área de formação inicial e de atuação dos autores em relação ao total (%).



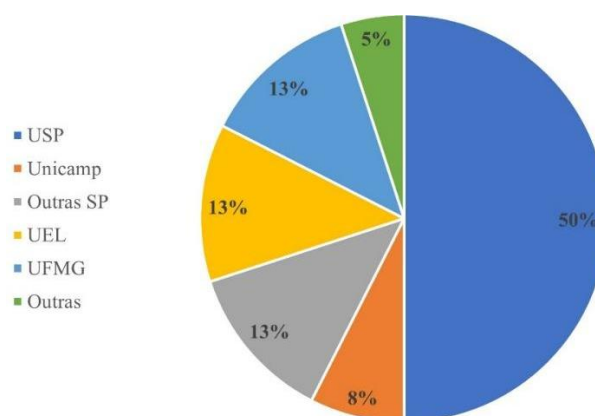
Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 3: Nível de formação inicial e de atuação dos autores em relação ao total (%).



Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 4: Instituição de formação inicial e de atuação dos autores em relação ao total (%).



Fonte: elaborado pela autora.

Depreende-se do Gráfico 2 que a distribuição das áreas de formação inicial dos autores do PNLD 2021 – Ciências da Natureza e suas Tecnologias – está equilibrada entre os componentes de Física, Química e Biologia. Tal composição é favorável a uma desejável (e necessária, nos moldes desse novo modelo) composição multidisciplinar de autores, embora não haja a participação de autores das outras áreas, como Ciências Sociais e suas Tecnologias (História, Geografia, Sociologia e Filosofia). Acreditamos que isso favorece a identificação e proposição de temas geradores mais amplos, interdisciplinares e contextualizados para as obras de Ciências da Natureza.

Destaca-se a formação geral em Ciências Naturais de 2 (dois) dos autores que converge para a perspectiva multidisciplinar anteriormente compreendida. Porém é necessário destacar que o padrão de distribuição uniforme entre autores das diversas áreas não é encontrado em todas as obras listadas no Quadro 4, havendo uma que é assinada por autores de duas áreas, sendo nenhum da Física. No caso dessa obra em particular, acreditamos que isso não é determinante para a não inserção de temas de FMC nos livros, especialmente sobre a perspectiva CTS, uma vez que se reconhece a vasta e reconhecida experiência dos respectivos profissionais na produção de livros didáticos e nas pesquisas em Ensino de Ciências além de, muito possivelmente, a coletânea ter contato com consultores da área de Física na sua elaboração.

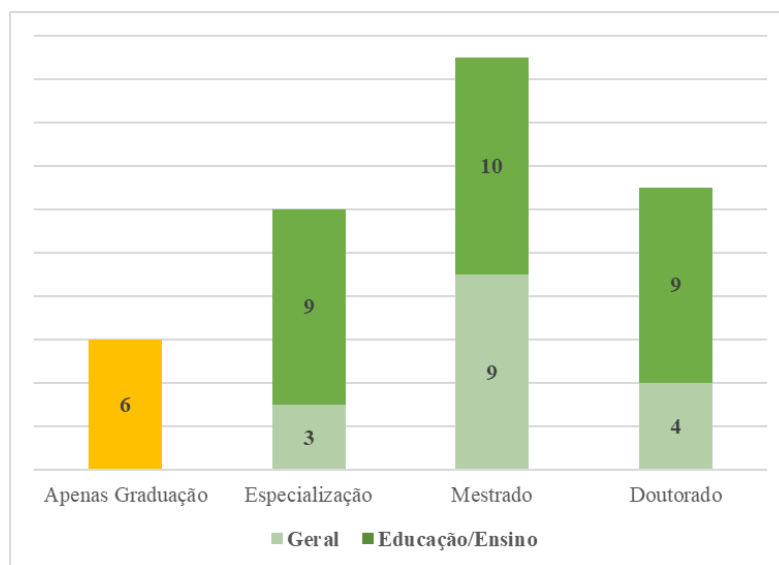
O Gráfico 3 chama a atenção para outro aspecto relevante a ser considerado: mais da metade dos autores possuem habilitação em Licenciatura (incluindo os que possuem Dupla Habilitação). Isso corrobora com a expectativa de que os autores de obras didáticas possuam formação específica na Didática das Ciências.

Em relação às instituições onde realizaram as suas formações iniciais (Gráfico 5) identificamos a predominância de formações ocorridas na região Sudoeste (85%), sendo a Universidade de São Paulo (USP) a que mais formou os autores das coletâneas desta edição do PNLD (50%). A região Sul comporta o restante dos escritores, sendo a Universidade Estadual de Londrina (UEL) a que mais contribuiu nesse indicador na região Sul (13%). Tal distribuição pode ser justificada, pelo menos em parte, pela localização das sedes editoriais (todas no estado de São Paulo), a tradição das autorias de obras didáticas clássicas e a referência no campo da pesquisa em Ensino de Física e de formação inicial de professores. Isso, contudo, não reflete, a nosso ver, a atual distribuição da oferta de cursos de Licenciatura em Física e subsequente formação de professores ao longo de todo o território nacional. Tal escolha pelas experiências

formativas da região Sudoeste pode restringir a proposta pedagógica das obras a um conjunto restrito de abordagens que pouco representam as particularidades dos demais territórios, especialmente numa abordagem CTS em que questões sociais e ambientais regionais próprias podem ser trabalhadas.

Em relação à qualificação dos autores de Ciências da Natureza em nível de pós-graduação (*lato* e *stricto sensu*), identificamos que apenas 6 (seis) do total de autores não informaram deter qualquer título de pós-graduação. A contagem dos títulos foi cumulativa para cada um, ou seja, contabilizou-se o número de especializações, mestrados e/ou doutorados para cada pessoa. Por este motivo, os quantitativos indicados no Gráfico 6 a seguir, quando somados, não coincidem com o número total de autores. Destacamos, também, a distinção entre a pós-graduação numa área geral (p. e., Oceanografia, Física Quântica, Química Orgânica etc.) daqueles realizados nas áreas de Educação ou Ensino de Ciências.

Gráfico 5: Distribuição do número de títulos informados pelos autores.



Fonte: elaborado pela autora.

Decorre-se do Gráfico 6 que grande parte dos títulos mais elevados informados estão a nível de pós-graduação *stricto sensu* (mestrado e doutorado), sugerindo uma melhor aptidão teórico-metodológica para a produção de textos científicos. Além disso, o quantitativo de pós-graduações realizadas nas áreas de Educação ou Ensino de Ciências, bem como em áreas correlatas (p. e., Escrita Científica com foco de trabalho em divulgação científica) é significativamente superior àqueles nas áreas de formação científica geral. Trata-se de um dado interessante, o que potencialmente qualifica a perspectiva didática das obras elaboradas e sugere

o contato dos respectivos pesquisadores com a temática CTS, uma vez que, por vezes, se trata de assunto discutido, por vezes, exclusivamente em nível de pós-graduação.

4.2. Descrição dos conteúdos de FMC nas obras analisadas.

Foram identificados os volumes das coletâneas (E4 e E7) que apresentaram capítulos/temas com conteúdo de FMC. Dos 12 (doze) volumes investigados, 7 (sete) apresentam os conteúdos de FMC distribuídos, como verifica-se no Quadro 5 abaixo.

Quadro 5: Relação de capítulos e temas de FMC nos livros analisados.

Editora	Volume	Unidade, Capítulo, Tema ou Seção – Conteúdos (Áreas FMC)
E4	Matéria, energia e vida (L1)	<i>Tema 1: Átomos</i> Modelo de Bohr e espectroscopia (<u>Espectro Eletromagnético e Física Quântica</u>)
	Movimento e equilíbrios na natureza (L2)	X
	Eletricidade na sociedade e na vida (L3)	<i>Tema 1: Fontes de Energia</i> - Energia nuclear (<u>Física Nuclear</u>) <i>Falando de... Magnetismo terrestre</i> - Radiação solar e auroras polares (<u>Física de Partículas e Física Quântica</u>).
	Origens (L4)	<i>Tema 1: Formação e estrutura do Universo</i> - Teoria do Big Bang e partículas fundamentais (<u>Cosmologia e Física Quântica</u>) <i>Tema 2: Ciclo estelar e formação dos elementos químicos</i> - Modelo de nascimento, desenvolvimento e morte de estrelas e nucleossíntese (<u>Astrofísica e Física Nuclear</u>)
	Ciência, sociedade e ambiente (L5)	X
	Ciência, tecnologia e cidadania (L6)	<i>Unidade 1: Tema 1: Princípios de radiações e radioatividade</i> - Efeitos da radioatividade (<u>Espectro eletromagnético e Física Nuclear</u>) <i>Unidade 1: Tema 3: Radioatividade e suas aplicações</i> - Radiações ionizantes e meia vida (<u>Espectro eletromagnético e Física Nuclear</u>) <i>Unidade 4: Tema 2: Radiações eletromagnéticas</i> - Espectro eletromagnético e Quantização da energia (<u>Espectro Eletromagnético e Física Quântica</u>) <i>Unidade 4: Tema 3: Tópicos de Física Moderna</i> - Efeito fotoelétrico, dualidade onda-partícula e relatividade (<u>Física Quântica e Relatividade</u>).
E7	O conhecimento científico (L1)	<i>Cap. 3: Modelos atômicos e Tabela Periódica</i> Radiações ionizantes, modelos atômicos de Bohr e mecânico-quântico (<u>Física Quântica</u>)
	Água e vida (L2)	X
	Matéria e energia (L3)	X
	Humanidade e ambiente (L4)	X
	Ciência e tecnologia (L5)	<i>Cap. 12: Nanotecnologia</i> Definições, propriedades e aplicações (<u>Física Quântica e Física da Matéria Condensada</u>)

	Universo e evolução (L6)	<i>Cap. 1: Origens do Universo, do Sistema Solar e da vida na Terra</i> ● Teoria do Big Bang e as forças fundamentais (<u>Astrofísica e Cosmologia</u>) <i>Cap. 2: Ondas eletromagnéticas e tecnologias das telecomunicações</i> ● Radiações ionizantes e semicondutores (<u>Espectro eletromagnético e Física da Matéria Condensada</u>). <i>Cap. 6: Gravitação universal</i> ● Teoria do Big Bang e lei de Hubble (<u>Cosmologia</u>) <i>Cap. 8: Noções de Física Quântica e Física Nuclear</i> ● Efeito fotoelétrico, dualidade onda-partícula e propriedades dos núcleos atômicos (<u>Física Quântica e Física Nuclear</u>) <i>Cap. 11: Radioatividade</i> ● Fissão, fusão nuclear e radiações ionizantes (<u>Física Nuclear</u>) <i>Cap. 12: Origem dos elementos químicos</i> ● Estrutura da galáxia, evolução estelar e espectro de emissão/absorção de luz (<u>Astrofísica e Física Quântica</u>)
--	--------------------------	---

Fonte: a autora.

Contudo há diversas alternativas a essa abordagem, como, por exemplo, o ensino de Cinemática (referenciais inerciais) concomitantemente à Relatividade Especial (referenciais inerciais a velocidades comparáveis a c) conforme sugerem, por exemplo, Miranda, Matos e Coelho (2019) e Sá (2019). A E4 não explicita tal sugestão, conquanto as demais temáticas de Física se organizem, de maneira geral, seguindo o padrão didático tradicional, com a destacada diferença da permuta da ordem de apresentação entre Eletromagnetismo com Termodinâmica e Ondulatória (esses comumente ensinados antes daquele). Ainda assim, a distribuição de temas de FMC em 4 (quatro) dos 6 (seis) volumes sugere uma concepção mais abrangente sobre as relações desses conteúdos com os demais. Nesse espírito, pudemos identificar que a coletânea de E7 não aborda sistematicamente o tema de Relatividade (Especial e Geral).

Destacamos, por fim, alguns aspectos que nos chamaram mais a atenção em relação à disposição dos conteúdos de FMC nas obras analisadas. Percebe-se em ambas uma maior predileção às temáticas relacionadas à *Física Nuclear e de Radiações*, cujas temáticas estão presentes ao longo de 4 (quatro) capítulos/temas em cada coletânea. Além disso, em ambas recebeu pelo menos 1 (um) capítulo/tema para o debate específico, incluindo, em maior ou menor nível, as discussões sobre vantagens e controvérsias no seu uso, conforme veremos no segundo movimento. Na sequência, destacaram-se capítulos envolvendo conteúdos de *Astrofísica* e de *Cosmologia e Relatividade* (embora a Relatividade, como vimos, esteja ausente de E7). Nesses textos abordou-se as teorias do Big Bang e da evolução do universo, estrelas e sistemas planetários. O último tema com maior discussão nas obras refere-se à *Física Quântica* contando com tópicos distribuídos em pelo menos 3 (três) capítulos/temas ao longo dos textos. Aqui apresentou-se mais detidamente discussões sobre modelo atômico de Bohr, quantização da energia, espectroscopia (emissão e absorção), efeito fotoelétrico e dualidade onda-partícula.

Portanto, em relação ao objetivo específico deste estudo de mapear os conteúdos de FMC presentes nos livros didáticos selecionados, podemos concluir pelo Quadro 5 que quase todos os campos da FMC indicados pelo Quadro 1 (e ilustrados na Figura 1) foram, em certa medida, contemplados pelas coletâneas analisadas. Os temas e conteúdos que tiveram remissão nas coletâneas analisadas foram:

1. *Física Quântica:*

- a. Modelo atômico de Bohr: E4_L1 e L6; E7_L1 e L6);
- b. Efeito Fotoelétrico (E4_L6; E7_L6);
- c. Dualidade onda-partícula (E4_L6; E7_L6);
- d. Interações com a matéria (E4_L6; E7_L6);
- e. Física de partículas e modelo padrão (E4_L4).

2. *Física Nuclear*

- a. Radiações ionizantes e suas aplicações, radioatividade, fissão e fusão nucleares (E4_L3, L4 e L6; E7_L6).

3. *Astrofísica*

- a. Estrutura e evolução das Galáxia, Sistema Solar e planetas (E4_L4; E7_L6)

4. *Relatividade e Cosmologia*

- a. Teoria do Big Bang, estrutura e evolução do universo e seus componentes, lei de Hubble (E4_L4; E7_L6)
- b. Princípios da relatividade especial (E4_L6)

5. *Física da matéria condensada*

- a. Nanotecnologia (E7_L5)
- b. Semicondutores (E7_L6)

Isto posto, verificou-se um esforço dos autores em contemplar, ainda que superficialmente, a maior parte dos conteúdos de FMC. Ao nosso ver, contudo, isso não significa que esses sejam ministrados em sala de aula uma vez que a carga horária de Física

ficou pequena após a reforma do Novo Ensino Médio. Como relatado na justificativa, durante o meu estágio não vi a ministração de qualquer dos conteúdos acima indicados em diversas escolas campo do município de Jataí. Em geral, e esse não deve ser considerando um dado de pesquisa, os professores justificavam *que os alunos não têm base matemática necessária e que não há tempo hábil para cumprir o programa proposto*.

Alguns conteúdos essenciais e outros mais contemporâneos, a nosso ver, poderiam ser melhor explorados pelas obras. Dentre os essenciais sublinhamos haver elementos da Física Quântica (radiação de Corpo Negro, efeito Compton, dualidade onda-partícula, comprimento de onda de De Broglie) e Relatividade, bem como temas da Física Contemporânea como Modelo Padrão de Partículas Elementares, Física da Matéria Condensada (semicondutores e supercondutores e nanotecnologia) e Ondas Gravitacionais. Vale o destaque que nossa sugestão não recai necessariamente em um aprofundamento matemático e sim numa contextualização histórico-epistemológica que permita o aluno compreender como esses fenômenos foram (e têm sido) descobertos, sua interpretação e as consequências desses.

4.3. Caracterização da abordagem CTS nos conteúdos de FMC identificados.

O último movimento realizado consistiu na leitura integral dos capítulos que envolvem conteúdos de FMC para caracterizar a abordagem CTS a partir dos indicadores contidos em Oliveira *et al.* (2018) e sumarizados no Quadro 3. Tratou-se de uma interpretação nossa considerando os critérios como categorias a priori que balizaram nossas análises. Ao longo do texto, as unidades de análise foram excertos (poucos parágrafos) que nos permitiam, explícita ou implicitamente, associar a abordagem do conteúdo aos indicadores.

Para isso fizemos uso de uma pequena ficha em que identificamos o exemplar (editora e volume), a unidade (se houvesse) e o capítulo em que os excertos foram localizados. Ao longo da leitura nos arquivos .pdf, fazíamos destaques em amarelo para identificar trechos em que, em nossa interpretação, se enquadravam nos indicadores oferecidos. É importante destacar que as duas dimensões (*Discurso/Informação* e *Atividades de ensino e aprendizagem*) foram identificadas, respectivamente, nos textos e nas atividades propostas (projetos, debates, experimentos, exercícios etc.). Ressalta-se que as categorias não são excludentes, ou seja, um mesmo trecho pode manifestar mais de um indicador contido no Quadro 3. Ao término da leitura integral do capítulo e da síntese na respectiva ficha, procedemos ao preenchimento de um formulário inspirado no Quadro 3, em que o atendimento de cada indicador era assinalado

e brevemente descrito por nós. Para qualificar o atendimento (ou não) aos indicadores nos textos, fizemos uso da seguinte nomenclatura:

Quadro 6: Códigos de atendimento aos indicadores CTS nos conteúdos de FMC detectados.

Atendimento	Explicação
X	Atendimento insuficiente/inexistente dos indicadores CTS na abordagem do conteúdo de FMC do
✓	Atendimento parcial do indicador. Caracteriza excertos que poderiam explorar mais detidamente (ou explicitamente) os elementos da abordagem CTS no conteúdo de FMC.
✓✓	Atendimento integral do indicador. Caracteriza excertos que atenderam os indicadores CTS na abordagem do conteúdo de FMC.

Fonte: a autora.

Para exemplificar como a avaliação qualitativa foi realizada, apresentaremos alguns trechos extraídos dos livros explicitando o conteúdo de FMC identificado, o indicador que foi avaliado e os respectivos comentários.

O exame mostrado acima [duas figuras exames com contraste de cérebros distintos por processo de tomografia] é uma das muitas aplicações da **radioatividade**, conjunto de fenômenos relacionados ao núcleo de átomos instáveis. Ao contrário das reações químicas (que são transformações nas quais os átomos se combinam, mas sem alteração de seu núcleo), os **processos nucleares** se caracterizam por **transformações envolvendo o núcleo atômico**. Nesses fenômenos, podem acontecer, por exemplo, emissões de partículas e de energia pelo núcleo. (E7_L6, grifos no original).

Para o trecho acima, identificamos o conteúdo de FMC como sendo *Física Nuclear e radioatividade*, uma vez que aborda conceitualmente o efeito de emissão de radiação por átomo instável em substância injetada no paciente (contraste radiológico). Esse trecho representa, a nosso ver, plenamente o esperado pelo indicador A1 (*Abordagem da utilidade social dos conteúdos*) e A9 (*Apresentar informações interdisciplinares fomentando a compreensão das interações CTS*), uma vez que os avanços na medicina (interdisciplinar) têm permitido diagnósticos mais precisos e menos invasivos. Tal como esse, outros trechos do capítulo remetem a considerações semelhantes.

Considere, agora, o trecho a seguir de uma atividade proposta ao final do capítulo:

4. A radiação que proporciona diversos benefícios para a sociedade também pode ser usada na fabricação de armas nucleares. Forme um grupo com seus colegas e pesquise sobre as duas bombas nucleares lançadas no Japão durante a Segunda Guerra Mundial. Monte uma apresentação digital que inclua vídeos, fotos, esquemas e linha do tempo. Sua pesquisa pode ser orientada pela seguinte pauta:

- Levantamento de pequeno histórico da guerra.
- Identificação dos cientistas envolvidos no desenvolvimento de bombas atômicas.
- Argumentos usados para a sua utilização.
- Levantamento do potencial de destruição dessas bombas.
- Descrição das condições sociais dos povos no pós-guerra, principalmente dos habitantes das cidades atingidas por bombas nucleares.
- Ampliação da pauta de pesquisa conforme o interesse do grupo. (E4_L6)

A atividade estimula os alunos a se aprofundarem nas correlações CTS por meio do debate das questões pautadas. Um trecho como este manifesta vários indicadores, em ambas as dimensões, pois se trata de uma atividade proposta que estimula a busca por informações complementares ao texto. Especificamente no indicador A2 (*Explicitar a influência social, política ou econômica no trabalho dos cientistas*), os autores optaram por não as discutirem, em diálogo com outros componentes disciplinares como a Sociologia e a História. Contudo, enquanto atividade proposta, se enquadra satisfatoriamente no quesito B1 (*Projetos promotores de pensamento crítico na interação CTS*), uma vez que, espera-se, os alunos deverão identificar

as influências sociais, políticas e econômicas que resultaram no projeto Manhattan e a produção da bomba nuclear, bem como dos usos controversos da Ciência e Tecnologia na sociedade.

Em síntese, e visando atingir o objetivo de pesquisa “*investigar as inserções dos conteúdos de FMC, à luz dos pressupostos da abordagem CTS, caracterizando em que medida atende aos indicadores previstos no instrumento de análise de Oliveira et al. (2018)*” ressaltamos as fichas de análise visando uma caracterização geral (e não fragmentada) das coletâneas. Esse movimento levou em conta a incidência dos índices de atendimento aos critérios, bem como as observações expressas em cada indicador. O assinalamento do atendimento resultante não reflete, necessariamente, uma ‘média’ da frequência das indicações em cada capítulo, mas uma caracterização resultante de uma releitura das fichas e das abordagens subordinadas a cada critério.

Para fins de ilustração, tomemos o indicador A2 (*Explicitar a influência social, política ou econômica no trabalho dos cientistas*) em ambas as obras. Nos livros da coletânea E4, esse aspecto foi bem abordado, justificando a indicação (✓✓). Os conteúdos destacam satisfatoriamente, por exemplo, a influência política e social no desenvolvimento da radioatividade, como no caso dos trabalhos de Marie Curie e os desafios que enfrentou para o desenvolvimento dos estudos sobre a radioatividade natural (conforme mostra o excerto a seguir). O presente debate se mantém atual com a ainda reduzida inserção feminina no campo das Ciências.

Após a morte de Pierre, Marie seguiu com os trabalhos e investigações desses dois novos elementos. Ela precisou vencer uma série de barreiras impostas pela sociedade científica dominada por homens em sua época, sendo a única mulher a receber dois prêmios Nobel.

Até hoje, somente outras três pessoas conseguiram esse feito. Ela foi a pesquisadora que mais contribuiu nos estudos da radioatividade, termo por ela criado. Marie Curie faleceu em decorrência dos efeitos da exposição aos materiais radioativos com os quais trabalhou durante sua vida (E4_L6).

Tal como essa importante discussão, observa-se ainda ao longo do texto, trechos que problematizam a exploração do desenvolvimento da bomba nuclear a partir do contexto da Segunda Guerra Mundial e suas implicações geopolíticas (E4_L6), comentários sobre o impacto econômico e político da energia nuclear, incluindo os riscos à saúde e ao meio ambiente, bem como a possível reutilização dos resíduos (E4_L3), reflexões sobre a evolução da Astronomia, enquanto expressão em diferentes culturas ao longo da história, mas como influência para propósitos sociais (E4_L4), dentre outras. Essas abordagens demonstram, a

nosso ver, um esforço consistente em relacionar o trabalho dos cientistas com o contexto social e político, justificando a pontuação (✓✓).

Nos livros da coletânea E7, a nossa análise mostrou que o indicador A2 não foi plenamente atendido. Isso significa que, ao longo dos conteúdos, não identificamos a discussão explícita sobre como fatores sociais, políticos ou econômicos influenciaram o desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia no contexto da FMC. No entanto, algumas menções indiretas aparecem, sem aprofundamento suficiente. Para esses casos, assinalamos uma avaliação parcial (✓). Exemplos incluem a breve referência ao Projeto Manhattan (inclusive não indicando esse nome) sem explorar o impacto da corrida armamentista na pesquisa nuclear, exceto pela destruição causada pelas explosões atômicas (E7_L6), a menção ao papel das mulheres na nanotecnologia, mas sem contextualização sobre as barreiras enfrentadas ou impactos sociopolíticos (E7_L6) e a discussão sobre o uso da energia nuclear, mas sem conexão direta com influências políticas ou econômicas (E7_L6). Portanto, com base na análise dos textos e atividades da coletânea, compreendemos que o material da editora E7 não expressou explicitamente nas oportunidades que os conteúdos assim o permitiam, justificando, assim, a avaliação (X). Se houvesse ainda que breves e contextualizados textos, ou ainda uma atividade que levasse os alunos a refletirem sobre essas influências, poderíamos indicar um atendimento parcial ao critério (✓), o que não foi observado neste caso.

Foi notável que a dimensão A, que engloba *Discurso/Informação*, seja mais representativa que a dimensão B, *Atividades de ensino e aprendizagem propostas*, escassa no acervo analisado. Essa constatação sugere que, embora os autores reconheçam a importância da interseção CTS nos materiais didáticos, ainda enfrentam desafios em desenvolver estratégias pedagógicas para integrar os conceitos da FMC nessa abordagem.

As reflexões acima ilustram as linhas condutoras das reflexões que realizamos para caracterizar as abordagens CTS nos conteúdos de FMC do acervo investigado. A partir das releituras (fichas, textos e atividades), elaboramos o Quadro 7 a seguir que ilustra, de maneira sintética, a avaliação da incidência dos indicadores nas coletâneas analisadas.

Quadro 7: Síntese analítica das abordagens de conteúdos de FMC nas coletâneas à luz dos indicadores CTS.

Coletânea	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	B1	B2	B3	B4	B5
E4	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓✓
E7	✓✓	X	✓✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓✓	X	X	X	X

Fonte: elaborado pela autora.

Como vimos, os volumes de E4 que apresentam os conteúdos de FMC demonstram um forte alinhamento com a abordagem CTS, especialmente no incentivo ao pensamento crítico, na contextualização da Ciência com aspectos sociais e na apresentação de aplicações tecnológicas. No geral a obra destaca a utilidade social dos conteúdos de FMC, explorando, por exemplo, os impactos da radioatividade e outras tecnologias no cotidiano. Além disso, promove discussões sobre a influência da Ciência na sociedade e estimula debates sobre limites éticos da Ciência e da Tecnologia, como o desenvolvimento, uso de armas nucleares e a regulação de tecnologias de fronteira, como a nanotecnologia.

Por outro lado, a abordagem da editora E7 apresenta uma cobertura mais limitada dos indicadores CTS. Embora haja um esforço para fomentar o pensamento crítico e relacionar a Ciência ao cotidiano, observa-se uma menor ênfase na explicitação das influências sociais, políticas e econômicas no trabalho dos cientistas. Além disso, há menos propostas de debates, reprodução de atividades experimentais e simulações que permitam aos alunos visualizar concretamente as interações CTS. A proposta de atividades em E7, em muitos casos, não conduzem a um aprofundamento das reflexões sobre o impacto da ciência na sociedade.

Em termos quantitativos, a editora E4 atende completamente (✓✓) a um maior número de indicadores em comparação com a editora E7, que apresenta algumas lacunas no atendimento dos critérios de ensino CTS. A análise sugere que para aprimorar a abordagem CTS nos conteúdos de FMC apresentados nos livros de E7 poderia ser incluída mais discussões sobre os impactos sociais e éticos da Ciência, bem como o incentivo a mais atividades interativas e experimentais que reforcem a conexão entre os avanços científicos e suas aplicações na sociedade.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A divulgação do conhecimento científico e tecnológico na sociedade atual torna-se fundamental para os estudantes do Ensino Médio, pois esses estão, por exemplo, diariamente em contato com debates acerca da validade da Ciência enquanto método de construção de conhecimento prático ao ser humano. Um processo de ensino e aprendizagem voltado para linguagens, códigos, símbolos, nomenclaturas, com o objetivo de identificar e utilizar unidades de medidas faz parte do processo de estudos científicos, principalmente aqueles voltados para a FMC. Como vimos, tal compreensão é subsidiada por documentos normativos oficiais da Educação Básica brasileira, especificamente os PCN, PCN+, as DCN e a BNCC. Cada um dessas bases legais, em maior ou menor detalhamento, destaca a importância da inserção dos tópicos de FMC visando, em uma primeira dimensão, relacionar os conteúdos científicos às tecnológicas.

Tais aplicações dos conhecimentos científicos relacionados à FMC encontram-se em diversas áreas: saúde, medicina, telecomunicações, entre outras. Isso indica que a Ciência está evoluindo e consequentemente contribui para a sociedade, modificando a forma como o ser humano se comporta. Não obstante a isso, torna-se essencial ao aluno do século XXI compreender e ter elementos para criticar a ingenuidade de uma concepção de Ciência neutra, dissociada dos contextos sociais, políticos e econômicos que circundam seu desenvolvimento. Bem como avaliar aspectos éticos e, por vezes, controversos do uso de tecnologias resultantes de avanços científicos no meio ambiente e na vida humana. Compreender tais relações imbricadas é objetivo da perspectiva CTS para o ensino de Ciências para a formação de um sujeito cientificamente alfabetizado.

Considerando isso, neste estudo *buscamos caracterizar a abordagem dos conteúdos de FMC à luz dos pressupostos CTS constantes nos livros didáticos do PNLD/2022 – Objeto 2 – de duas coletâneas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias disponibilizadas para as escolas públicas de Ensino Médio no Brasil*. Para tanto, realizamos as seguintes etapas de investigação: (1) *caracterização do perfil e alinhamento acadêmico com o campo de pesquisa em Ensino de Física/Ciências e/ou Educação dos autores*; (2) *mapeamento dos conteúdos de FMC presentes nos livros selecionados para este estudo*; e (3) *investigação das inserções desses conteúdos de FMC à luz dos pressupostos da abordagem CTS, caracterizando o atendimento aos indicadores previstos no instrumento de análise de Oliveira et al. (2018)*.

O primeiro movimento de análise nos permitiu verificar a diversidade formativa dos autores recrutados pelas editoras para a elaboração das 7 (sete) coletâneas específicas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias ofertadas no edital do PNLD 2021. A partir de dados obtidos dos currículos Lattes de cada um foi possível identificar que a grande maioria desses, possuem capacitação a nível de pós-graduação *stricto sensu* (mestrado e doutorado) em áreas de Educação e/ou Ensino. Esse dado permite-nos inferir uma qualificação adequada para a elaboração de obras didáticas que exijam, para além da apresentação técnica dos conteúdos de Física, a sua problematização em termos das discussões em CTS.

A varredura dos conteúdos de FMC nas duas coletâneas mais adotadas nas escolas públicas do país (65 %) revelou uma diversidade de temáticas que tangem a maior parte dos tópicos de FMC listados neste estudo. Na grande parte dos conteúdos de FMC analisados a apresentação segue uma abordagem mais conceitual e historicamente localizada, sem enfatizar demasiadamente o lado matemático da Física. Destacam-se as frequentes inserções de textos/atividades relacionados à Física Nuclear, Astrofísica/Cosmologia e Física Quântica, revelando um esforço meritoso de autores e editoras em fazer cumprir o previsto nos documentos normativos apesar das condições oferecidas pela estrutura do Novo Ensino Médio. Ainda assim, é necessário apontar que conteúdos como Relatividade e tópicos de Física Contemporânea poderiam ter sido mais qualificadamente abordados, afastando as críticas relacionadas à incompletude e/ou desatualização do material, afinal os temas da Física Moderna indicados são do início do século XX. A não referência, mesmo conceitual, aos tópicos indicados pode sugerir uma desatualização dos textos considerando o rápido avanço científico e tecnológico que vivemos.

A apresentação desses temas a nível da Educação Básica objetiva, além da aprendizagem dos conceitos técnicos, o desenvolvimento de uma postura crítica acerca das relações entre Ciência-Tecnologia-Sociedade (enfoque CTS). Isso se faz necessário para que se supere as visões distorcidas de um fazer científico isento de ingerências de ordem política, econômica e social, bem como da utópica relação linear que acredita que ‘quanto mais Ciência, mais tecnologia e, por conseguinte, maior bem estar social’. Portanto, ao buscar caracterizar em que medida os conteúdos de FMC são apresentados inspirados nesses pressupostos, buscamos em Oliveira *et al.* (2018) um conjunto de indicadores (categorias) que nos auxilia na avaliação das abordagens CTS contidas nos textos investigados.

O resultado da análise das duas coletâneas mostrou que uma delas (E4) apresenta maior aderência aos indicadores CTS considerados a priori. Isso representa um esforço autoral para o desenvolvimento do pensamento crítico frente às aplicações tecnológicas resultantes de (ou que resultam em) descobertas científicas, como uso de radiação ionizante para a radioterapia e o desenvolvimento de empreitadas tecnológicas como o *Large Hadron Collider* (LHC) entre a França e a Suíça. Verificou-se propostas de atividades que estimulam debates e investigações pelos alunos sobre dimensões outras do desenvolvimento científico dos temas de FMC, tais como as relações sócio-político-econômicas, os limites éticos e usos controversos dos conhecimentos/tecnologias científicas e o cuidado com a saúde humana e o meio ambiente.

Já o segundo material investigado (E7) apresentou uma cobertura mais limitada dos indicadores de abordagem CTS. Isso, no entanto, não invalida o empenho da inserção de temas de FMC ao longo dos volumes. Identificamos uma menor ênfase na explicitação das influências externas ao trabalho dos cientistas, particularmente como (e porquê) esse trabalho é direcionado por escolhas políticas, econômicas e sociais. Um exemplo disso, é que poderia ser mais profundamente abordado em E7, é a constituição do projeto Manhattan enquanto esforço político, econômico e científico para findar a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), ainda que às custas de vidas humanas e de um desastre ambiental. Outra dimensão que não foi detectada de maneira satisfatória no texto é o estímulo ao desenvolvimento de uma postura crítica e cientificamente fundamentada dos alunos perante problemas sociais e ambientais. Reconhece-se que, no caso do capítulo de Nanotecnologia, há fomento a discussões sobre benefícios, possíveis malefícios e, conseqüentemente, a necessidade de regulamentação para o seu uso. Esse espírito, contudo, não foi aprofundado noutros temas, sendo, portanto, texto com potencial a ser explorado para garantir que os conteúdos de FMC sejam compreendidos não apenas em seus aspectos teóricos, mas também em suas complexas interações com a Sociedade e a Tecnologia

Entendemos que a inserção da Física Moderna e Contemporânea no currículo do Ensino Médio é um passo para uma formação de cidadãos capazes de compreender o mundo contemporâneo através de uma posição crítica, como já dito. A análise dos livros didáticos mostrou que houve avanços nos conteúdos abordados, mas também demonstrou a necessidade de um esforço contínuo para que esses conteúdos sejam apresentados de forma acessível e importantes para os alunos. Alternativamente, a capacitação dos professores e o desenvolvimento de materiais didáticos complementares e inovadores podem se mostrar

fundamentais para superar os desafios e potencializar os benefícios da FMC, sob uma perspectiva CTS, na Educação Básica.

Conclui-se que os resultados obtidos indicam que os livros analisados apresentam conceitos relacionados à FMC em uma linguagem clara, coerente e de fácil compreensão pelos alunos do Ensino Médio. Contudo, observou-se que nem sempre esses textos contextualizam o conteúdo, discorrem sobre o impacto social e ambiental na construção desses conhecimentos. Estas conclusões sugerem a necessidade de uma complementação do ensino de FMC para promover uma compreensão mais ampla e integrada desses tópicos sob uma perspectiva dos pressupostos CTS.

O objetivo deste trabalho, assim, foi fornecer uma análise introdutória e reflexiva sobre o assunto, destacando pontos relevantes e fomentando a discussão. Dessa forma, espera-se que o trabalho sirva como um ponto de partida para investigações futuras, bem como para a ampliação do debate acadêmico sobre o tema tratado. Portanto, este trabalho de conclusão de curso de Licenciatura em Física não esgota o tema. Como limitação do estudo indicamos nossa incapacidade de abranger a totalidade dos materiais didáticos disponíveis, incluindo também as orientações pedagógicas para professor. Outra linha de pesquisa que pode ser fomentada é a investigação das ações de professores e alunos durante as atividades de ensino de tópicos de FMC (por exemplo, as controvérsias entre os modelos de criação do Universo) sob uma perspectiva CTS.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, D. F. F.. **Manuais escolares de estudo do meio, educação CTS e pensamento crítico**. 2005. 180 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências) – Departamento de Didática e Tecnologia Educativa, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2005.
- ALVETTI, M. A. S.. **Ensino de Física Moderna e Contemporânea e a Revista Ciência Hoje**. 1999. 169 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.
- AMABIS, J. M.; TORRES, C. M. A.; MARTHO, G. R.; SOARES, J.; FERRARO, N. G.; CANTO, E. L.; PENTEADO, P. C. M.; LEITE, L. C.C.. **Moderna Plus: ciências da natureza e suas tecnologias: o conhecimento científico**. 1. ed., v.1. São Paulo: 2020.
- BARDIN, L.. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências Naturais e Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC/SEF, 1997.
- _____. **Parâmetros Curriculares Nacionais + Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC/SEF, 2002.
- _____. **Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Básica**. Brasília: MEC/SEB, 2013.
- _____. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC/SEB, 2017.
- _____. **Novo Ensino Médio: perguntas e respostas**. Brasília: MEC, 2018.
- _____. **Temas Contemporâneos Transversais na BNCC: contexto histórico e pressupostos pedagógicos**. Brasília: MEC, 2019.
- COSTA, N.; OLIVEIRA, E. C.; GUERRA, C.; PINO, J. C.. Química no 10º ano: perspectiva CTS em um manual escolar português. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 11., 2017, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: ABRAPEC, 2017. Trabalho 2498-1.
- FERNANDES, I. M. B. **A perspectiva CTSA nos manuais escolares de ciências da natureza do 2º CEB**. 2011. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências) – Escola Superior de Educação de Bragança, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2011.

FIGUEIRA, R.. **Abordagem temática e a introdução de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio**: uma primeira aproximação. 2014. 135 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

GARCÍA, M. I. G.; CERESO, J. A.L.; LUJÁN, J. L.. **Ciência, tecnologia y sociedade**: Uma introducción al estudio social de la ciência y la tecnología. Madrid: Tecnos, 1996.

GODOY, A. S.. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **RAE - Revista de Administração de Empresas**, [S. l.], v. 35, n. 3, p.20-29, 1995.

INVERNIZZI, N.; FRAGA, L.. Estado da arte na educação em ciência, tecnologia, sociedade e ambiente no Brasil. **Ciência & Ensino**. v. 1, n. especial, 2007.

MARQUES, T. C. F.; MARTINS, T. C.; NOVAIS, A. L. F.; GOMES, L. M.; PASCHOAL, C. M. M.; FERNANDES, C. S.; FERREIRA, F. C. L.. Ensino de física moderna e contemporânea na última década: revisão sistemática de literatura. **Scientia Plena**, [S. l.], v. 15, n. 7, 2019.

MIRANDA, C. O.; MATOS, M. M.; COELHO, G. M. C.. Introduzindo as Relatividades Especial e Geral no Primeiro Ano do Ensino Médio. **Revista do Professor de Física**, [S. l.], v. 3, n. Especial, p. 53–54, 2019.

MONTEIRO, R. S.. **Entre os PCN e a BNCC**: faces do ensino de História. 2021. 47 f. Monografia (Licenciatura em História) – Universidade Federal de Campina Grande, Cajazeiras, 2021.

OLIVEIRA, E. C; GUERRA, C.; COSTA, N.; PINO, J. C. D.. Abordagem CTS em manuais escolares de Química do 10º ano em Portugal: um estudo de avaliação. **Ciênc. Educ.**, Bauru, v. 24, n 4, p.891-910, 2018.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. Física moderna e contemporânea no ensino médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 3, p. 267-286, 1999.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 1, p.23-48, 2000.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 3, p. 393-420, 2009.

POFFO, A.. **Ensinando energia nuclear**: um módulo baseado no enfoque CTS. 2001. 83 f. Monografia (Especialização em Ensino de Física) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

RIBEIRO, L. S.. **O novo PNLD e a BNCC**: compreendendo as mudanças da organização estrutural dos livros de ciências da natureza e suas tecnologias. 2021. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

SÁ, M. R. R.. **Teoria da relatividade restrita e geral ao longo do 1º ano do ensino médio**: uma proposta de inserção. 2019. 318 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade de Brasília, Brasília, 2019..

SANTOS, W. L. P.. **O ensino de química para formar o cidadão**: principais características e condições para a sua implantação na escola secundária brasileira. 1992. 243 f. Dissertação de Dissertação (Mestrado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1992.

SILVA, J. R. N.; ARENGHI, L. E. B.; LINO, A.. Porque inserir Física Moderna e Contemporânea no ensino médio? Uma revisão das justificativas dos trabalhos acadêmicos. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 6, n. 1, jan-abr./2013.

SILVA, J. C. R.. **Análise da abordagem da física nuclear nos livros didáticos de física**. 2016. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Física Licenciatura) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2016.

STRIEDER, R. B.. **Abordagens CTS na educação científica no Brasil**: sentidos e perspectivas. 2012. 283 f. Tese (Doutorado em Ensino de Física) – Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

TENÓRIO, A.; QUINTANA, L. S.; NUNES, W. V.; TENÓRIO, T.. Análise dos conteúdos de Física Nuclear em livros escolares brasileiros. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 14, n. 2, p. 175-199, 2015.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 9, n. 3, p. 209-214, 1992.