



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



Panorama das pesquisas sobre História, Filosofia e Sociologia da Física moderna e contemporânea na Revista Brasileira de Ensino de Física

EDER STABILE

Campo Grande – MS 2024

EDER STABILE

Panorama das pesquisas sobre História, Filosofia e Sociologia da Física moderna e contemporânea no ensino de Física

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Física Licenciatura, do Instituto de Física da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, campus Campo Grande (MS), como um dos requisitos para a obtenção do título de licenciado em Física, sob a orientação do Prof. Dr. Wellington Pereira de Queirós.

Agradecimentos

A todos que me apoiaram ao longo destes anos de esforço, especialmente a minha noiva Ana Flora, minha tia Solange, minha nona Cida e meu pai Artur, e em memória do meu avô Josué Stabile, por todo apoio emocional e financeiro para concluir este trabalho.

Ao professor Dr. Wellington Pereira de Queirós pela orientação acadêmica e pela extensa ajuda nessa jornada.

Ao professor Dr. Ivo Leite Filho pelo apoio e incentivo à busca pela ciência, do ensino médio à graduação.

Sumário

I - INTRODUÇÃO.....	07
II – REFERENCIAL TEÓRICO	10
III– METODOLOGIA.....	18
IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
V -CONCLUSÕES	50
VI –REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

Resumo

O presente trabalho tem como proposta realizar um levantamento bibliográfico no periódico: Revista Brasileira de Ensino de Física. Através do levantamento, foram analisados todos os artigos publicados com a temática “História, Filosofia e Sociologia da Física moderna e contemporânea” no intervalo de 1980 a 2020, sendo 1980 a data de surgimento do periódico. Para tanto, utilizamos a pesquisa documental do tipo síntese e encontramos quarenta e duas publicações de artigos científicos que foram divididos em áreas comuns à história, filosofia e sociologia da física. Analisamos os referenciais teóricos, as perspectivas epistemológicas e as temáticas de física moderna e contemporânea de cada um dos artigos. Foram também analisadas as contribuições desses estudos para o ensino de física em que detectamos que a maioria das publicações são de ensaio teórico de estudos de episódios históricos, biografias de cientistas, análises epistemológicas e sociológicas de temáticas da física moderna e contemporânea. Esses dados evidenciam uma demanda de maiores pesquisas em prática de ensino com a temática de História, Filosofia e Sociologia da Física moderna e contemporânea nos diversos níveis de formação.

Palavras-Chave: física moderna e contemporânea; história, filosofia e sociologia da física; ensino de física

Abstract

The purpose of this study is to carry out a bibliographic survey in the periodical: Revista Brasileira de Ensino de Física. Through the survey, all articles published with the theme “History, Philosophy and Sociology of modern and contemporary Physics” between 1980 and 2020 were analyzed, with 1980 being the date the journal appeared. To do so, we used synthesis-type documentary research and found forty-two publications of scientific articles that were divided into areas common to the history, philosophy and sociology of physics. We analyzed the theoretical references, epistemological perspectives and modern and contemporary physics themes of each of the articles. The contributions of these studies to physics teaching were also analyzed, in which we detected that the majority of publications are theoretical essays on studies of historical episodes, biographies of scientists, epistemological and sociological analyzes

of modern and contemporary physics themes. These data highlight a demand for further research into teaching practice with the themes of History, Philosophy and Sociology of modern and contemporary Physics at different levels of training.

Keywords: modern and contemporary physics; history, philosophy and sociology of physics; physics teaching

Introdução

De acordo com Martins (2001), no séc. XIX, as áreas da Física que chamamos "Física Clássica" e que compreendem a mecânica, a óptica, a termodinâmica e o eletromagnetismo já haviam alcançado um grande aperfeiçoamento. Pode-se dizer que a maior parte ou quase toda a Física vista no ensino médio atualmente já havia sido descoberta naquela época. A mecânica do século XIX, conseguia explicar diversos movimentos complexos, como os dos piões e giroscópios e o movimento de líquidos e gases, permitindo ainda o desenvolvimento de técnicas matemáticas avançadas como a mecânica analítica, que utiliza um formalismo diferente daquele desenvolvido por Isaac Newton.

Ainda segundo Martins (2001), diante dos notáveis avanços científicos ocorridos, em 1900, alguns físicos acreditavam que a Física estava praticamente concluída. Lord Kelvin, um dos principais cientistas a contribuir para esse progresso, aconselhava os jovens a não se dedicarem à Física, argumentando que restavam apenas alguns detalhes pouco interessantes a serem aprimorados, como o refinamento de medidas e a resolução de problemas secundários. Kelvin, no entanto, destacou a existência de "duas pequenas nuvens" no horizonte da física: os resultados desfavoráveis do experimento de Michelson e Morley (que tentaram medir a velocidade da Terra através do éter) e a complexidade em explicar a distribuição de energia na radiação de um corpo aquecido. Curiosamente, essas duas "pequenas nuvens" foram as responsáveis pelo surgimento das duas teorias que revolucionaram a Física no século XX: a teoria da relatividade e a teoria quântica.

Durante a década de 1920 a teoria quântica evoluiu para a Mecânica Quântica, graças a contribuições de De Broglie, Schrödinger, Heisenberg, Bohr e outros. A Mecânica Quântica possibilitou a compreensão de diversos fenômenos significativos, tais como a estrutura de átomos e moléculas (que constitui a base da química), a organização de sólidos e suas propriedades, assim como os processos de emissão e absorção de radiações. Apenas por meio da Mecânica Quântica somos capazes de compreender alguns dos fenômenos mais fundamentais da Física.

Para Groote (2001) A mecânica quântica desempenha um papel fundamental nos avanços tecnológicos da nossa sociedade contemporânea e no vasto acúmulo de conhecimento científico que estamos adquirindo. Tanto os progressos práticos quanto os

teóricos nas áreas de astronomia, medicina, biologia, química e física resultam diretamente da aplicação dessa teoria. Os conceitos associados à mecânica quântica promoveram uma revolução na nossa compreensão do universo, evidenciando que o comportamento da matéria em nível atômico não segue as regras bem estabelecidas pelo mundo macroscópico.

A teoria da relatividade pode ser dividida em duas partes, sendo a primeira a relatividade especial ou restrita, publicada por Einstein em 1905 e se dedica à compreensão da relação do espaço e tempo, postulando que as leis da física são as mesmas para todos os observadores inercialmente em movimento relativo e introduzindo a constância da velocidade da luz. Já Teoria da Relatividade Geral, de acordo com Wuensche (2021), foi apresentada por Einstein em 1915, uma década após a divulgação da Relatividade Restrita. Nesta teoria, Einstein amplia a descrição dos fenômenos físicos para incluir sistemas não inerciais, ou seja, aqueles que estão acelerados. O Princípio de Equivalência postula que é impossível distinguir entre sistemas uniformemente acelerados e campos gravitacionais. Duas consequências fundamentais desse princípio são a curvatura da luz em presença de campos gravitacionais e a alteração da frequência (e, conseqüentemente, a mudança de energia) de fótons em campos gravitacionais. Ambas as previsões foram confirmadas experimentalmente em inúmeras ocasiões.

É importante ainda citar o desenvolvimento da Física contemporânea. Por meio dela, é possível compreender a revolução tecnológica em que estamos imersos. Os fenômenos relacionados ao funcionamento de dispositivos como telefones celulares, sensores de presença, calor e microprocessadores não podem ser adequadamente explicados apenas pelos princípios da Física Clássica. Diante dessa consideração, destaca-se a relevância do ensino da Física Contemporânea no Ensino Médio. (ARAÚJO e KILLNER, 2019, p. 147).

Ainda de acordo com Araújo e Killner (2019), dentro do amplo espectro de temas relacionados à Física Contemporânea, a noção de luz destaca-se como uma presença proeminente no mundo moderno. Basta considerar sua aplicação na comunicação por fibras ópticas, em dispositivos como televisores, telas de LCD e plasma, sensores de presença, cirurgias a laser, entre outros. Essa abrangência de aplicações ressalta a importância de aprimorar o entendimento desse conceito sob a ótica da Física Contemporânea.

Essas áreas de pesquisa tiveram um impacto fundamental no avanço tecnológico desde o século XX, possibilitando a criação de diversas tecnologias que revolucionaram setores como saúde e engenharia.

As aplicações da Física moderna e contemporânea são, portanto, variadas, e a evolução tecnológica resultante abre oportunidades para promover o desenvolvimento contínuo da própria física. A construção de laboratórios e centros de pesquisa depende diretamente das tecnologias desenvolvidas por essa área de estudo.

Em face a essa abordagem, entender como se deu esse processo de construção do conhecimento sob uma perspectiva histórica, social e filosófica é fundamental, pois há para o senso comum a visão recorrente de que o conhecimento científico é produzido somente no interior de laboratórios isolados e totalmente sem contato com a realidade:

Ao contextualizar um tema específico da Física, por exemplo, podemos fazer relações com o meio histórico-social, incluindo aspectos ambientais, e com as tecnologias que esse estudo foi capaz de proporcionar, buscando a análise crítica sobre os resultados vivenciados hoje na prática. Essa ênfase dada ao ensino relaciona a História, a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade (HCTS) com o desenvolvimento do senso crítico e com a capacidade de levantar problemas e de resolvê-los. (Hornes e Santos, 2016)

Adotando uma abordagem histórico-filosófica, em linhas gerais, busca-se compreender o contexto temporal no qual uma ideia foi desenvolvida, assim como todas as influências de natureza filosófica, historiográfica e social que possam ter inspirado a descoberta em questão. Esse viés, segundo Martins (2001), começou a se manifestar no século XVII, coincidindo com o surgimento da Ciência Moderna e se desenvolvendo dentro desse próprio campo científico.

A Física moderna, portanto, emergiu em um ambiente de pouca abertura, enfrentando uma considerável resistência por parte da comunidade científica acadêmica.

O Próprio Albert Einstein passou a questionar algumas hipóteses da teoria quântica:

Embora Einstein seja considerado um dos pais da mecânica quântica (seu modelo do efeito fotoelétrico de 1905 desempenhou um papel importante no desenvolvimento da mecânica quântica), com o passar do tempo, ele considerou desagradável alguns conceitos que estava adotando a mecânica quântica, em particular, o conceito da indeterminação quântica, que foi desenvolvido na década de 1920. (Montero, 2020)

Dada a importância de uma abordagem histórico-filosófica no ensino da Física, temos como objetivo a realização de uma de revisão de literatura sistemática sobre as

publicações em História, Sociologia e Filosofia da Física no periódico "Revista Brasileira de Ensino de Física". A escolha da revista se deu em face à relevância do periódico para as pesquisas em ensino de física no Brasil. Este estudo visa realizar um levantamento bibliográfico das contribuições filosóficas, históricas e sociológicas para o ensino de Física moderna e para a área de Filosofia da Física moderna, destacando os feitos, avanços e demandas provenientes de suas publicações.

Referencial teórico

Para uma compreensão mais abrangente do contexto no qual a Física moderna emergiu, tornou-se necessário examinar as correntes filosóficas que predominavam no meio acadêmico naquele período, seus principais nomes e estilos de pensamento. Essa análise incluiu o positivismo, o empirismo-indutivismo, o racionalismo, o relativismo, o idealismo transcendental e o realismo, bem como a epistemologia contemporânea. Justifica-se a utilização dessas correntes como sendo fundamentais para a compreensão da evolução da Física como ciência moderna, sendo necessário conhecer as bases filosóficas, sociais e históricas que motivaram seu desenvolvimento bem como das tecnologias subsequentes.

Para Chibeni (1990), o termo realismo refere-se a uma posição filosófica específica em relação a determinadas categorias de objetos ou proposições sobre esses objetos. Essas categorias incluem objetos matemáticos, universais, objetos materiais comuns, estados e processos mentais, entidades não observáveis postuladas por teorias científicas, entre outros. No âmbito estritamente metafísico, o realismo em relação aos objetos de uma dessas categorias é caracterizado pela afirmação de que esses objetos "realmente existem", ou "possuem uma existência independente de qualquer cognição", ou ainda "são constituintes fundamentais do mundo real". Assim, é possível ser realista em relação a uma ou mais categorias de objetos e, ao mesmo tempo, ser anti-realista em relação a outras. Um exemplo é o realismo científico, no qual alguém sustenta que pelo menos algumas das entidades não observáveis postuladas pela ciência (como elétrons, vírus, campos magnéticos) realmente existem.

Existem formas diversas de adotar o realismo de maneira crítica. Ainda de acordo com Chibeni (1990) o "realismo mínimo" afirma que algo existe objetivamente, independentemente de ser concebido. O "realismo comum" propõe que a maioria dos tipos psicológicos e físicos existe objetivamente. O "realismo científico" sustenta que a

maioria dos tipos científicos existe objetivamente. O "realismo moderado" defende que aquilo representado por algumas de nossas crenças é objetivo, ou seja, logicamente e causalmente independente de ser concebido por alguém.

As correntes filosóficas que contestam o realismo científico podem ser categorizadas em dois amplos grupos, dependendo se compartilham ou não a concepção correspondencionista da verdade (verdade como correspondência com fatos objetivos). O primeiro grupo, frequentemente denominado "empirista" na literatura contemporânea, suscita equívocos devido à confusão entre esse uso do termo e sua aplicação tradicional para designar uma doutrina epistemológica que se opõe ao racionalismo em termos de fundamentação do conhecimento.

O segundo grupo abrange as doutrinas filosóficas rotuladas como relativistas, idealistas ou construtivistas, as quais adotam diversas concepções não-clássicas da verdade, geralmente não obedecendo à lei do terceiro excluído. Exemplos notáveis incluem a concepção coerencionista da verdade (uma proposição é considerada verdadeira se for coerente com todas as demais proposições aceitas) e a concepção de Dummett-Putnam (uma proposição é verdadeira se for assertível com segurança. Esse tipo de anti-realismo representa uma ruptura significativa com o realismo, normalmente extrapolando além do domínio das proposições científicas.

Descartes pode ter sido o pioneiro entre os filósofos da era moderna a perceber de maneira iminente a importância do problema do realismo científico, de acordo com Chibeni (1990). Por um lado, ele buscava o ideal de fundamentação rigorosa do conhecimento; por outro, foi o arquiteto da primeira teoria abrangente e minuciosa da estrutura da matéria. Essa teoria explicava os fenômenos físicos por meio da ação de corpúsculos microscópicos, imperceptíveis aos sentidos, dotados apenas de qualidades que Locke mais tarde denominaria "primárias" (ou seja, forma, tamanho e movimento), e cujo comportamento era regido pelas leis mecânicas derivadas por Descartes de certos princípios metafísicos. A partir disso, naturalmente surge a questão de como a existência e as propriedades de tais entidades podem ser conhecidas.

Para Chibeni (1990), outro importante nome a ser mencionado é John Locke, cuja contribuição para a questão do realismo científico reside principalmente no estabelecimento das bases do empirismo. Na obra de Locke, existe uma constante tensão entre a argumentação filosófica contrária ao realismo científico e uma concepção

do mundo material que se assemelha à de Descartes e dos cientistas. Nessa perspectiva, entidades microscópicas não observáveis são consideradas constitutivas dos corpos macroscópicos e explicativas de seu comportamento. No entanto, Locke não apresenta em momento algum, argumentos a favor da tese realista de que conhecemos ou podemos conhecer esse mundo microscópico.

Contemporaneamente falando, é necessário considerar as posições dos cientistas e pesquisadores com relação ao realismo. Einstein por exemplo, sustenta que diante de questões polêmicas, um físico não deve simplesmente delegar a interpretação de sua teoria a um filósofo; ele mesmo precisa possuir conhecimento filosófico. Na visão de Einstein, o entendimento da filosofia confere ao cientista uma independência de julgamento que o capacita a tomar decisões mais fundamentadas sobre os alicerces teóricos de sua disciplina. (HOWARD *apud* MORAES e KARAM, 2016, p.01).

Segundo Gerald Holton, conforme citado por Moraes e Karam (2016), houve uma significativa mudança na filosofia de Einstein por volta de 1915, transitando do positivismo para o realismo. Holton interpreta essa transição como decorrente da necessidade de uma ontologia realista para a teoria da relatividade geral, em contraste com a relatividade especial. Por outro lado, Howard, *apud* Moraes e Karam (2016), argumenta que Einstein nunca foi um positivista machiano convicto, tampouco um realista. Einstein reconhecia a importância de comprovações empíricas para as teorias científicas, mas não se enquadrava como um empirista. Além disso, embora esperasse que as teorias dessem conta da realidade física, ele não adotava uma posição estrita de realismo, pois era realista com relação a algumas entidades físicas e não realista com relação a outras.

Já o Positivismo foi um movimento intelectual que influenciou significativamente parte da cultura europeia, abrangendo filosofia, artes e literatura, aproximadamente de 1840 até a eclosão da Primeira Guerra Mundial. A cunhagem do termo decorreu do período de relativa paz na Europa e da expansão colonial na África e Ásia, criando um ambiente de entusiasmo em torno da concepção de um progresso humano e social imparável. (MATTIOLI, 1997, p. 118).

É importante ressaltar que há uma diferença entre este positivismo chamado de positivismo sociológico, e o positivismo lógico, aqui justificado no referencial teórico. Enquanto o positivismo sociológico era mais voltado para a aplicação de métodos

científicos nas ciências sociais, buscando compreender padrões e leis sociais, o positivismo lógico se concentra na lógica, na linguagem e na verificabilidade empírica na filosofia e nas ciências naturais.

O Positivismo Lógico, de acordo com Mattioli (1997), emergiu como corrente de pensamento no início do século XX, ganhando destaque a partir de encontros realizados em Viena, nos quais participaram filósofos, sociólogos, matemáticos e cientistas de diferentes áreas. Esse grupo, conhecido como Círculo de Viena, tinha como objetivo discutir questões relacionadas à natureza do conhecimento científico, concentrando-se na formação de uma teoria crítica voltada para o estudo e análise dos conceitos fundamentais, princípios e objetivos do conhecimento científico em geral, bem como dos resultados de sua aplicação efetiva. Em essência, essa abordagem era uma forma de Epistemologia Geral.

O positivismo lógico não constituiu o primeiro esforço filosófico no sentido de demarcar o discurso científico dos demais discursos, considerados não científicos (FEIJÓ *apud* CAVALCANTE, 2015, p. 265). Contudo, inaugura um corpo de conhecimentos que assume uma relativa autonomia nos debates científicos e filosóficos, a saber, a filosofia da ciência.

No âmbito do projeto lógico-positivista, o objeto da ciência é definido como composto de elementos empíricos, capturáveis na experiência sensível e tratados com recurso ao método da análise lógica. Deste modo, o objetivo da filosofia “é a análise lógica; e seu objeto de estudo são as ciências empíricas e positivas” (CALDWELL, *apud* CAVALCANTE, 2015, p. 266).

Para Cavalcante (2015), segundo o critério de cientificidade do positivismo lógico, apenas as proposições dotadas de significado cognitivo eram consideradas científicas, enquanto aquelas desprovidas desse significado eram rotuladas como não científicas. O reconhecimento de significado cognitivo era reservado às proposições analíticas e sintéticas, sendo que as proposições metafísicas eram tidas como destituídas de tal significado. Assim, apenas as primeiras podiam ser consideradas científicas dentro da perspectiva lógico-positivista. Uma vez esclarecida a natureza das proposições examinadas pelo positivismo lógico, tornava-se fundamental entender como distinguir proposições com significado cognitivo (analíticas e sintéticas) de

proposições sem significado cognitivo (metafísicas). Era necessário estabelecer um critério de demarcação.

O primeiro critério de demarcação entre proposições com e sem significado cognitivo foi o da verificação. Esse critério estipulava que as proposições deveriam ser passíveis de teste empírico para serem consideradas sintéticas, e, conseqüentemente, possuírem significado cognitivo e serem consideradas científicas. Nesse contexto, o resultado do teste empírico determinaria se as proposições eram verdadeiras ou falsas. Se uma proposição não pudesse ser submetida a um processo de verificação empírica, seria classificada como metafísica, carente de significado cognitivo e, portanto, não científica. (CAVALCANTE, 2015, p. 266).

Já o Empirismo-indutivismo teve início com os trabalhos de Francis Bacon (1561-1626) na obra “O novo Organum”, na qual teceu duras críticas ao trabalho de Aristóteles (384a.c - 347a.c) por superdimensionar as capacidades da razão humana e acreditar que somente o pensamento puro poderia conduzir à verdade, estagnando a ciência e impedindo o experimentalismo. (KÖHNLEIN, 2003 p 15). Esse método de pensamento pragmático ficou conhecido como empirismo baconiano e propunha uma reforma do conhecimento humano pelo progresso do saber. Para ele, tanto a mente como as mãos não poderiam ser deixados à solta, como ora acontecia. Para Bacon:

A verdadeira causa e raiz de todos os males que afetam as ciências é uma única: enquanto admiramos e exaltamos de modo falso os poderes da mente humana, não lhe buscamos auxílios adequados. A natureza supera em muito, em complexidade, os sentidos e o intelecto. Todas aquelas belas meditações e especulações humanas, todas as controvérsias são coisas malsãs. E ninguém disso se apercebe (BACON, 1979, *apud* KÖHNLEIN, 2003 p 17).

Em suma, o empirismo é uma forma de autonegação: propõe o objeto falar por si só, a partir disso a verdade é acessível, sem que haja uma descrição mental do objeto. Bacon visava uma reforma filosófica que garantisse o progresso das ciências contra a escolástica, que por sua vez se baseava nos próprios trabalhos de Aristóteles para se justificar.

Outro filósofo proeminente da corrente empirista foi o austríaco Ernst Mach. Em sua obra "Análise das Sensações", Mach argumentou que nosso entendimento do mundo tem sua base em entidades sensoriais e materiais, sendo possível formar julgamentos apenas com base em nossas sensações e observações. Ele sustentou que a Ciência é composta por abstrações elaboradas pelos cientistas, as quais são construídas a partir de

suas percepções sensoriais. Dessa forma, Mach sustenta a visão de que um cientista não deve buscar explicar o mundo, mas sim limitar-se a descrevê-lo. Ele rejeita o conceito de causalidade, alinhando-se com a perspectiva de Hume, argumentando que a Ciência deve se concentrar na elaboração de descrições precisas com base nas observações, em vez de postular relações causais que ultrapassem a esfera da experiência sensorial.

O profundo apreço de Einstein pelo trabalho de Mach é manifestado de maneira clara quando ele sugere que o físico e filósofo austríaco poderia ter desempenhado o papel de progenitor da teoria da relatividade:

Provavelmente, Mach teria descoberto a relatividade se, quando jovem e espirituoso, os físicos questionassem o significado da constância da velocidade da luz. Na ausência deste estímulo, que veio com a eletrodinâmica de Maxwell - Lorentz, nem a crítica de Mach foi suficiente para fazer emergir a necessidade de uma definição de simultaneidade para eventos espacialmente distantes (EINSTEIN, *apud* MORAES e KARAM, 2006, p. 03).

Diante disso, é possível afirmar que a influência empirista foi marcante nos primeiros trabalhos de Einstein. No entanto, ao longo de sua vida e carreira, o cientista evoluiu para uma postura crítica em relação a vários pressupostos do empirismo. Essa mudança substancial em suas concepções epistemológicas sugere uma evolução significativa em seu pensamento ao longo do tempo.

Outra corrente filosófica que teve um impacto significativo nas bases epistemológicas para o surgimento da Física Moderna foi o Racionalismo. O Racionalismo defende que as fontes do conhecimento verdadeiro não residem nas impressões sensoriais, mas sim na razão. Essa corrente filosófica já encontrava respaldo no trabalho de filósofos gregos, como os eleatas (Parmênides), Platão e os atomistas (Leucipo e Demócrito). Na era moderna, seu principal representante foi René Descartes (1596-1650), que argumentava que a mente não apenas organiza informações, mas também as armazena e atribui significado ao que foi adquirido. O Racionalismo também postula que o conhecimento humano é o resultado de dedução lógica, argumentação e análise de informações (CHIBENI, 1993, p. 2).

Para Moraes e Karam (2006), é crucial notar que Einstein não limita suas críticas apenas ao empirismo, estendendo-as também ao racionalismo puro, exemplificado pelos idealistas platônicos da antiguidade. Diante dessa antítese entre empirismo e racionalismo, Einstein identifica na filosofia de Immanuel Kant um avanço significativo para resolver esse impasse. No entanto, ele expressa a visão de que a forma como a

filosofia kantiana foi apresentada é indefensável. Essa perspectiva de Einstein sugere uma busca por uma síntese ou reconciliação entre as abordagens empirista e racionalista, reconhecendo o mérito do pensamento kantiano, embora questionando a forma específica como foi articulado por Kant. Essa postura evidencia a complexidade e a contínua evolução das concepções filosóficas de Einstein ao enfrentar os desafios inerentes à relação entre empirismo e racionalismo.

Além disso, o relativismo é uma corrente filosófica importante a ser mencionada. O pensamento relativista argumenta que a verdade não é fixa, mas sim mutável ao longo do tempo; ou seja, a verdade não é absoluta, e cada ponto de vista é válido, de acordo com essa perspectiva (SANTOS, 2018, p. 2). Filósofos como Hume, Kant e Nietzsche contribuíram para o desenvolvimento do relativismo, defendendo que a verdade ou falsidade dependem do que cada indivíduo percebe ou observa entre os fatos e objetos. Nesses pensamentos, a ontologia cede espaço para a imaginação, a experiência real racional se reduz a uma experiência baseada nos sentidos humanos, a objetividade é questionada em favor da subjetividade (SANTOS, 2018, p. 2).

Outra corrente filosófica fundamental para a compreensão do processo de construção do conhecimento, é a epistemologia contemporânea. Para Carvalho (2019), a epistemologia contemporânea, baseada em uma perspectiva de cientificidade fundamentada na "desdogmatização", busca superar a dicotomia entre ciências sociais e ciências naturais, preservando tanto a unidade científica quanto a especificidade intrínseca aos seus objetos e questões de pesquisa respectivos. Além disso, ela introduz novas abordagens à relação entre conhecimento científico e senso comum, assim como à análise de vies. Ao se trabalhar com a natureza da ciência para o ensino, Moura (2014) afirma que é necessário abordar seus aspectos consensuais, tidos como características acerca da construção do conhecimento científico que a maioria dos pesquisadores concorda sobre o tema. Ainda de acordo com Moura (2014), podemos citar os trabalhos de William F. McComas e colaboradores, Stephen Pumfrey e Daniel Gil-Pérez e colaboradores. Eles descrevem uma lista de aspectos consensuais que podem ser resumidos em cinco tópicos:

A Ciência é fluida, dinâmica e tem como meta explorar e elucidar os fenômenos naturais. Os três conjuntos de autores mencionados anteriormente apresentam argumentos que fortalecem a concepção de que a Ciência não é um conhecimento

estático, mas sim um campo em constante evolução, sempre buscando criar modelos explicativos para os fenômenos do mundo natural. Para Moura (2014), rejeita-se, portanto, a visão de que a Ciência consiste em um conjunto de verdades inquestionáveis a serem aceitas sem questionamento. Pelo contrário, dado o seu caráter mutável, ela está em constante reconfiguração interna, revisando continuamente seus modelos e fundamentos, o que implica em uma alteração da nossa própria percepção ao longo do tempo.

Para o autor, não há um método científico universalmente aplicável. Existe um amplo consenso sobre esse aspecto da natureza da Ciência. Diferentemente das concepções populares sobre o método científico, os pesquisadores concordam que não há um conjunto fixo de regras a serem rigidamente seguidas na prática científica. As abordagens metodológicas podem variar, resultando em uma diversidade de resultados e deixando espaço para divergências. Isso significa que um mesmo fenômeno pode ser investigado e compreendido de maneiras distintas.

A teoria não é um desdobramento automático da observação/experimento, e vice-versa. No senso comum, prevalece a ideia de que uma teoria científica sempre emerge de experimentos que, se repetidos em um número específico de vezes e em diferentes circunstâncias, validam a teoria. Vários autores na literatura contestam essa concepção da Ciência. Relacionada à noção de um método científico universal, a ideia de uma relação linear entre teoria e experimento reflete uma compreensão superficial do processo de construção do conhecimento científico, como se fosse uma sequência predefinida de etapas. A Ciência é ainda influenciada pelo contexto social, cultural, político, etc., em que é desenvolvida. Esse aspecto destaca a não neutralidade da Ciência e do pensamento científico, ou seja, nenhuma ideia científica ou cientista está isolada em uma redoma intransponível; ao contrário, suas concepções, as questões da época, o local onde vivem e as influências que recebem desempenham um papel crucial na aceitação, rejeição e evolução das ideias científicas. (MOURA, Breno Arsioli, p. 32-46, 2014)

Os cientistas recorrem à imaginação, crenças pessoais, influências externas, entre outros, no exercício da Ciência. Ainda segundo o autor, no senso comum, existe a percepção de que o cientista está desconectado do mundo ao seu redor, praticando uma Ciência neutra e desprovida de influências. No entanto, uma análise da construção da ciência revela que todo cientista possui uma característica inerente: são seres humanos

comuns, sujeitos a erros, que utilizam suas crenças e expectativas para formular e validar suas ideias, possuindo qualidades e defeitos. Isso nos conduz à conclusão de que não há um modelo uniforme de cientista; cada um se desenvolve dentro do seu próprio contexto.

Metodologia

Foi utilizada neste trabalho a Pesquisa documental do tipo síntese, de acordo com o proposto por ROSA (2013) na obra “Introdução à pesquisa qualitativa em ensino de ciências.” Para o autor:

Nesse tipo de pesquisa, buscamos em documentos as informações que necessitamos. Embora não seja uma forma de pesquisa empírica, nosso foco neste texto, a Análise Documental é importante como técnica de pesquisa, e nos interessa particularmente por duas razões:

- Este tipo de pesquisa pode ser um fim em si mesmo; e,
- Esse tipo de pesquisa é, normalmente, a etapa inicial de uma pesquisa empírica. ROSA (2013) p 52-53

Com base nisso, foi feita a pesquisa documental, tendo como proposta realizar um levantamento bibliográfico no periódico: Revista brasileira de ensino de Física. Através do levantamento, foram analisados todos os artigos publicados com a temática “História, Filosofia e Sociologia da Física moderna” entre o intervalo de 1980 a 2020, sendo 1980 a data de surgimento do periódico. Após a busca, foram encontradas quarenta e duas publicações com este tema no referido periódico.

Partindo do quantitativo de artigos distribuídos por área, buscou-se identificar quais são as propostas e linhas de pesquisa pertinentes às áreas da História, filosofia e sociologia da ciência com as temáticas de Física Moderna, bem como quais correntes filosóficas estão presentes em cada uma. As áreas foram alocadas em tópicos e analisadas separadamente, para após isso, redistribuir as publicações de acordo com as correntes filosóficas do referencial teórico.

História da Física (HF):

A História da Física busca mapear o desenvolvimento histórico das teorias e conceitos físicos ao longo do tempo.

Sendo reivindicadas de forma implícita no texto, correntes filosóficas como o Realismo histórico e o Positivismo foram identificadas nesta área, permitindo

considerar eventos passados como reflexos da realidade objetiva e enfatizando a observação direta e a verificabilidade experimental. A Epistemologia Contemporânea também foi identificada nos artigos incluídos nesta sessão, pelas suas contribuições acerca da compreensão do desenvolvimento científico, considerando as mudanças nas perspectivas epistemológicas ao longo do tempo.

Considerando o quantitativo de 15 artigos encontrados com a temática história da Física, foi feita a sua distribuição de acordo com três critérios, exemplificados a seguir:

Descrição do Contexto Histórico:

A análise do contexto histórico foi considerada quando a publicação se propôs a analisar como os eventos, ideias e descobertas da Física se desdobraram ao longo do tempo. Ao introduzir um conhecimento da Física, com o pretexto de contextualizá-lo com fatores culturais e políticos, considerou-se que os autores optaram por uma abordagem mais descritiva do contexto histórico no qual aquela ideia científica foi desenvolvida.

Utilização da História para Explicação da Física:

Considerou-se a incorporação da história como instrumento para tornar os conceitos físicos mais acessíveis e significativos. Ao narrar a evolução das teorias físicas, conectando ideias e experimentos ao longo do tempo, os autores procuraram criar um pano de fundo histórico para a explicação de um dado conhecimento físico, considerando que este seria melhor compreendido se inserido dentro do contexto de seu desenvolvimento. Além disso, as publicações que adotaram essa abordagem também propuseram uma abordagem mais didática para a compreensão da evolução da física, destacando a construção gradual do conhecimento e os debates intelectuais que moldaram a física moderna e contemporânea.

Evolução do Pensamento Científico:

Neste viés, os autores buscaram analisar as mudanças nas teorias científicas, paradigmas e métodos ao longo do tempo, considerando a ciência como uma construção dinâmica. Compreender como os cientistas respondem a desafios, reformulam teorias e influenciam uns aos outros ao longo do tempo, contribui para a proposta dos autores de que a física é um corpo de conhecimento em constante desenvolvimento.

Com base nessa subdivisão, foi elaborada a tabela 02 que ilustra o quantitativo de publicações em função da análise em história da física, considerando o volume de 15 artigos na área:

Tabela 01: Quantitativo de publicações em função da análise em história da física

Abordagem histórica	Quantidade de artigos
Descrição do contexto histórico	03
Utilização da História para Explicação da Física	05
Evolução do Pensamento Científico	07
Total	15

Fonte: Autoral

Com base na tabela é possível notar que há uma maior concentração de publicações que tratam sobre a evolução do pensamento científico, cujo critério de busca foi a referência a autores que buscam descrever como a ciência evolui ao longo do tempo, bem como suas práticas e metodologias. Já as publicações com enfoque em descrição do contexto histórico foram encontradas em menor quantidade, haja vista que os autores nos demais artigos sim realizaram a descrição desse contexto, utilizando-o como pano de fundo para a explicação de um fenômeno físico ou para mostrar uma evolução científica na prática científica ao longo do tempo.

Filosofia da Física (FF):

Focando em questões filosóficas intrínsecas à física, esta área aborda tópicos fundamentais derivados da natureza da física. Questões sobre a natureza da realidade, o método científico e interpretações teóricas são consideradas nesta análise. Para Pessoa Jr (2014), A filosofia da física aborda os enigmas ainda não solucionados na descrição física do universo, muitos dos quais se encontram na vanguarda da pesquisa atual em física. Um desses enigmas é a indagação sobre a natureza determinista do Universo. Ainda de acordo com Pessoa Jr (2014), o determinismo estrito postula que o estado atual do Universo determina de forma única o estado futuro em qualquer momento. Essa ideia é sugerida pela mecânica clássica, na qual, dadas as condições iniciais e de contorno de um sistema, juntamente com as equações diferenciais que governam sua evolução, é teoricamente possível calcular o estado em qualquer momento futuro.

O autor ainda pontua que de acordo com a mecânica clássica, o determinismo estrito também se aplica a um sistema completamente isolado do restante do Universo ou a um sistema cuja evolução não é significativamente influenciada pelo ambiente. Se a evolução de um sistema for previsível para qualquer estado inicial, isso sugere que o sistema é determinista. No entanto, o oposto não é necessariamente verdadeiro. A constatação de que um sistema é imprevisível não implica automaticamente que ele seja indeterminista, pois pode ser o caso de não termos acesso a todas as variáveis que afetam sua evolução.

Correntes filosóficas como o Realismo e a Epistemologia Contemporânea também foram identificadas na análise de como as teorias científicas refletem uma realidade objetiva, bem como a compreensão das interpretações teóricas mais recentes, a natureza da realidade e sua interpretação teórica.

Autores fundamentais e cientistas filósofos como Albert Einstein, Werner Heisenberg e Niels Bohr, são referências importantes nos artigos encontrados. Nomes como Niels Bohr e Werner Heisenberg também aparecem por introduzirem questões filosóficas importantes na visão dos autores. São também encontradas na busca por palavras chave, referências a Niels Bohr, por meio do Princípio da Complementaridade, no qual propõe uma abordagem filosófica que destaca a natureza dual da luz e da matéria. Já Heisenberg, em "Física e Filosofia" (1958), explora a influência da observação e a imprecisão inerente às grandezas conjugadas. As publicações buscam se aprofundar em questões fundamentais, sendo especialmente relevante na compreensão da Teoria da Relatividade e da Mecânica Quântica.

As publicações em Filosofia da Física portanto não apenas analisam os fundamentos teóricos, mas também se debruçam sobre a elucidação de paradoxos deixados pela Física, como a dualidade onda-partícula por exemplo.

História e Sociologia da Física (HSF):

Focando na relação entre história e sociologia da física, esta área explora como mudanças históricas influenciam o desenvolvimento da física e como a prática científica é moldada por fatores sociológicos.

Na segunda metade do século XX, os países desenvolvidos testemunharam um notável aumento nos investimentos tanto públicos quanto privados em Ciência e

Tecnologia, uma tendência que se correlacionou positivamente com o crescimento econômico dessas nações. Esse fenômeno tem incentivado os países em desenvolvimento a seguir uma trajetória semelhante. O papel estratégico do avanço do conhecimento científico também é reconhecido na sociedade contemporânea. (RODRIGUES JR *apud* HAYASHI et al, 2010)

Ainda para os autores, na Sociologia da Ciência, algumas das referências mais antigas destacam o viés normativo-estrutural como um aspecto central. Esse viés reflete, em certa medida, uma concepção herdada da ciência cuja influência histórica remonta ao Círculo de Viena, um grupo formado no período entre guerras cujo sistema filosófico estava intimamente ligado aos pressupostos do Positivismo Lógico. Essa visão foi dominante até os anos sessenta, sendo caracterizada por abordar a ciência como um modo de conhecimento cumulativo e progressivo, unitário, neutro e idealmente isento de valores.

Já para Schwartzman (1984), a Sociologia do Conhecimento, em grande parte desenvolvida a partir de perspectivas marxistas, representou uma das principais tentativas de estabelecer uma ciência sobre a própria ciência. De acordo com o autor, Marx via a vida social como sendo organizada em torno do trabalho e da apropriação social de seus produtos. Essa seria a base fundamental sobre a qual outras criações humanas, como religião, arte, moral, direito e conhecimento se desenvolvem. Portanto, compreender a ciência moderna requer reconhecer que ela é parte integrante do sistema capitalista e visa garantir seu crescimento e continuidade.

Adormecida até a década de 1940, a Sociologia do Conhecimento foi revitalizada por Robert Merton (1910-2003), cuja contribuição foi fundamental para o reconhecimento e consolidação da Sociologia da Ciência como um campo de estudo independente, além de contribuir para o entendimento da atividade científica institucionalizada nas sociedades modernas. Sua concepção de ciência, essencialmente normativa, apresenta a comunidade científica como um grupo social distinguível por uma série de normas não escritas que compõem o ethos científico (Merton, 1970). Tais normas, universalismo, ceticismo organizado, desinteresse e comunismo, são legitimadas com base em valores institucionais e internalizadas pelos cientistas, representando imperativos ideais que orientam suas ações e comportamentos. (RODRIGUES JR *apud* HAYASHI et al, 2010)

Ainda para os autores, é necessário compreender também o que Martínez Álvarez (2004) denomina de "Movimento Internacional de Estudos sobre CTS" - um movimento que surge precisamente na década de 1960 e está associado à emergência de uma reação acadêmica, administrativa e social contra a "concepção herdada" da ciência, ou seja, o legado positivista. Segundo Lamo de Espinosa *apud* Rodrigues Júnior et al. (2010), essa "concepção herdada" era caracterizada por visões como: a) a ciência descobre um mundo objetivo e independente das opiniões dos cientistas; b) há um critério estrito de demarcação entre ciência e outras formas de conhecimento; c) o progresso científico ocorre pela acumulação de conhecimento; d) observação e teoria são completamente distintas; e) apenas observação e experimentação fundamentam hipóteses e teorias; f) a comprovação de teorias ocorre exclusivamente por indução; g) os conceitos e termos na ciência são precisos e invariáveis; h) os contextos de descoberta e justificação são separados; i) há apenas uma ciência unificada capaz de explicar o mundo real.

Compreender a história e a sociologia da física, portanto, é fundamental para o ensino da física moderna e contemporânea. O estudo da história da física moderna permite que os alunos entendam como as teorias e conceitos fundamentais foram desenvolvidos ao longo do tempo, fornecendo uma perspectiva mais ampla e profunda das ideias físicas atuais. Isso ajuda na construção de uma base sólida de conhecimento e na conexão dos conceitos abstratos com aplicações práticas, que de alguma forma modificarão ou influenciarão a própria estrutura social, seja através de novas tecnologias ou até mesmo como ferramenta de poder político.

Estudar a sociologia da física moderna e contemporânea em um contexto histórico, portanto, capacita os estudantes a compreender como fatores sociais, políticos e econômicos podem influenciar o desenvolvimento e a aceitação de teorias científicas, permitindo-lhes analisar de forma crítica as controvérsias e debates na comunidade científica atual.

História e Filosofia da Física (HFF):

De acordo com Costa (2010), ao longo da história, a concepção de ciência nem sempre foi homogênea. Em certos contextos, a ciência era entendida de maneira uniforme, sendo apresentada de forma única para todos, o que caracterizava uma concepção homogênea. Desde a Antiguidade até os dias atuais, houve uma variedade de

concepções da ciência. O que se entendia por ciência na Antiguidade e na Idade Média evoluiu significativamente. Descobriu-se que a ciência não é singular, mas sim multifacetada.

Além disso, é importante destacar que a história da ciência, enquanto uma disciplina acadêmica em cursos de graduação ou pós-graduação, difere da história da ciência em seu sentido mais amplo, cujo nascimento é comumente situado na Antiguidade, particularmente na Grécia Antiga, por volta do século V a.C. Nesse período, ciência e filosofia estavam entrelaçadas, e as distinções entre essas formas de conhecimento e o conhecimento mítico eram fundamentadas principalmente na observação da natureza, sem a necessidade de recorrer ao sobrenatural ou aos deuses. (COSTA, p.18, 2010).

Para Cupani (2009), a filosofia, entendida como atitude humana e até como um modo de vida, consiste na tendência a examinar, para melhor compreender, todo objeto da nossa experiência. Para ele, a inquietação filosófica não é algo exclusivo dos filósofos profissionais. Qualquer ser humano filosofa, mesmo que não use essa palavra e mesmo sem saber que ela existe, sempre que realiza uma análise motivada pelo desejo de viver de forma mais plena. Encontramos reflexões filosóficas em obras literárias, como nos textos de Eurípedes, Shakespeare, Jorge Luís Borges ou Guimarães Rosa, e até de forma implícita em obras de arte, como o "Guernica" de Picasso, que expressa um questionamento sobre a guerra. Grandes cientistas, como Einstein, também formularam questões filosóficas.

Ainda de acordo com o autor, a ciência não se resume apenas a pensar, mas também a agir de certa maneira e a realizar determinadas ações, bem como a avaliar outras. Os cientistas não apenas têm ideias sobre seu objeto de pesquisa, mas também formulam, aceitam ou rejeitam ideias, utilizam instrumentos e julgam teorias, hipóteses ou dados como adequados, bem confirmados, confiáveis, duvidosos, entre outros. Assim, a ciência é uma atividade que está institucionalizada, o que significa que configura uma estrutura social permanente, assim como instituições como o Estado, a família ou a educação, cada uma com sua função na manutenção da sociedade. Vale ressaltar que nem sempre foi assim: em outras épocas e culturas, não havia uma instituição dedicada à produção sistemática do conhecimento científico como o conhecemos hoje, considerado desejável e até mesmo imprescindível. Em outros

tempos, a produção desse conhecimento era ocasional, praticada por poucos, não considerada relevante ou até mesmo hostilizada.

Por outro lado, em nossa sociedade, a ciência ocupa um lugar de destaque na cultura. É considerada imprescindível para ampliar o conhecimento confiável, como produtora de saber útil em suas aplicações tecnológicas e como um elemento valioso na educação. Por fim, mas não menos importante, a atividade científica tem sua própria evolução histórica, entendida em termos de progresso: presume-se que a ciência atual seja superior à de todas as épocas passadas, que possuímos mais e melhores conhecimentos científicos do que há cinquenta, duzentos ou mil anos. (CUPANI, Alberto Oscar, p. 13-17, 2009.)

No contexto do ensino de física moderna e contemporânea, compreender a intersecção da história da ciência e da filosofia, é fundamental para que o estudante entenda o contexto de desenvolvimento das teorias científicas. Ao descrever o panorama histórico atrelado às perspectivas filosóficas dos cientistas responsáveis pelo desenvolvimento da física moderna, o estudante passa a entender a física moderna e contemporânea não apenas como um compilado de conhecimentos e fórmulas matemáticas descontextualizadas, mas sim como o produto do desenvolvimento humano em um certo período, de forma a gerar uma reflexão acerca da própria ciência e suas implicações para a humanidade em si.

Na intersecção entre história e filosofia, explora-se como esses dois elementos se influenciam mutuamente, enfocando a necessidade de compreender a filosofia para interpretar as teorias científicas em um dado contexto. Nomes como, Gaston Bachelard, Karl Popper e Thomas Kuhn aparecem na busca por palavras chave, evidenciando uma ênfase na epistemologia contemporânea como referencial de pesquisa.

Correntes filosóficas como o Racionalismo e o Realismo também foram identificadas como justificativa para entender como a razão e a busca pela verdade influenciam a construção de teorias físicas. A relação com a física moderna foi diversas vezes enfatizada, especialmente em publicações com enfoque na Mecânica Quântica e Teoria da Relatividade, onde questões filosóficas sobre observação, realidade e interpretação são proeminentes.

História, Filosofia e Sociologia da Física (HFSF):

Integrando as três perspectivas, essa área busca uma compreensão mais completa da física moderna, considerando a história, filosofia e sociologia. Essa integração se torna fundamental para uma compreensão mais profunda dos conceitos científicos e das condições em que essas ideias foram concebidas. Este processo também oferece uma perspectiva mais ampla sobre a natureza e o desenvolvimento da física moderna.

Do total de nove artigos que abordam conjuntamente a História, Filosofia e Sociologia da Física é perceptível uma abordagem integrada do conhecimento, permitindo uma compreensão mais completa do desenvolvimento, contextos e implicações da física.

Ao abordar a perspectiva histórica, os artigos procuram contextualizar as teorias físicas em seus períodos históricos, para que o leitor compreenda o conceito físico em sua gênese e contexto. Para incluir a abordagem sociológica da ciência, procurou-se avaliar se a publicação apenas descrevia uma situação histórica que levou à gênese das teorias físicas, ou se os autores buscaram analisar também o impacto social na época em que as teorias físicas foram desenvolvidas, bem como a ênfase na ideia de que as visões científicas não são absolutas, mas moldadas por contextos sociais, culturais e históricos.

Em complemento com a filosofia da Física, observou-se o caráter reflexivo da publicação, ao citar pensadores voltados à área de filosofia ou epistemologia da ciência, não apenas analisando o contexto sociológico, mas também o impacto no coletivo de pensamento da época, associado à adoção de novos paradigmas.

A exemplo da publicação “Os Problemas Epistemológicos da Realidade, da Compreensibilidade e da Causalidade na Teoria Quântica” (Filho, 2003), observou-se que o autor faz um resgate histórico de conceitos fundamentais à compreensão da teoria quântica, remontando à Aristóteles e o problema da causalidade, percorrendo a história em diversos períodos para contextualizar a gênese da teoria quântica, mas ao mesmo tempo tratando da abordagem epistemológica contemporânea na compreensão da mesma, reivindicando autores como Lakatos, Kuhn e Bachelard para uma descrição teórica da realidade, compreensibilidade e da causalidade.

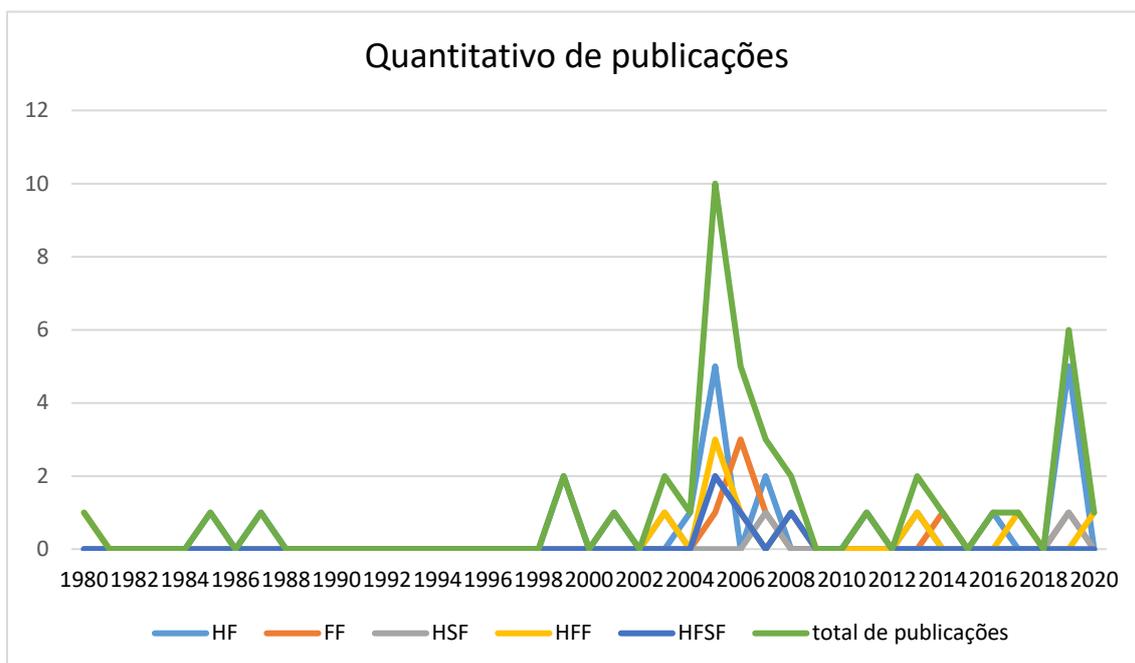
Para além da história e filosofia, considerou-se a abordagem sociológica na publicação pelo fato de o autor mencionar escolas de pensamento como o Positivismo,

além de descrever qual era o coletivo de pensamento da academia científica na época, influenciado pelo ambiente depressivo e pessimista do pós-guerra alemão no período de 1918 a 1927 e que teria influenciado a sociedade alemã com sentimentos anti-causais, influenciando conseqüentemente a abordagem e o desenvolvimento da teoria quântica naquele país. (Filho, 2003).

Essa tratativa envolvendo as três áreas de maneira integrada, foi verificada em todas as nove publicações levantadas neste tópico, mantido o mesmo critério para todas e sendo feita a análise não apenas por palavras chave, correntes filosóficas e pensadores, mas também pela leitura do contexto social, histórico e filosófico proposto pela publicação. Se verificado que a publicação possui elementos conjuntos às três áreas, foi considerada pertencente à esta categoria.

Resultados e Discussão

No presente trabalho pretende-se analisar as publicações encontradas e classificá-las de acordo com a corrente filosófica ou sociológica proposta pelos autores, bem como verificar suas contribuições para a Filosofia da física moderna e para o ensino de física moderna. Inicialmente foi elaborado um gráfico do quantitativo de publicações em função do intervalo de tempo para cada uma das categorias, no periódico “Revista Brasileira de Ensino de Física” de 1980 a 2020. Após isso, os artigos foram divididos em áreas de interdisciplinaridade em uma tabela, de acordo com a temática proposta na publicação. Como critério de análise foi feita a pesquisa por palavras-chave nos artigos analisados digitando-se os nomes de correntes filosóficas e de seus principais teóricos, para então alocar o artigo na área de publicação, bem como uma análise de leitura do contexto da publicação.

Figura 01: Gráfico do quantitativo em função do ano de publicação

Fonte: Autoral

Optou-se por manter no gráfico o tempo de publicação em anos em detrimento de décadas, para melhor visualização das curvas de crescimento e decréscimo. A análise do volume de publicações em função do ano é fundamental para compreender a dinâmica e a evolução do interesse na interseção entre Filosofia e Física Moderna. Conhecendo esse quantitativo, é possível entender o contexto histórico, a influência de eventos científicos e o desenvolvimento das pesquisas em filosofia da física moderna ao longo do tempo.

Através do gráfico, percebe-se que as décadas de 1980 e 1990 apresentam um volume relativamente baixo de publicações se comparadas com épocas recentes, inclusive com anos seguidos sem que houvesse uma publicação na área, o que pode ser atribuído a diversos fatores. Durante esse período e especificamente na Revista Brasileira de Ensino de Física, a filosofia da física pode ter enfrentado um declínio de interesse em publicações ou até mesmo ser o reflexo de um baixo volume de pesquisas a nível nacional. É importante também mencionar que durante as décadas de 80 e 90 Brasil estava saindo de um período de regime militar e iniciando o processo de redemocratização, o que pode estar refletido no quantitativo de artigos publicados naquele período. Segundo Barbosa (2009), embora os militares tenham desempenhado um papel fundamental na promoção da ciência no Brasil, estabelecendo instituições de ensino superior, agências de fomento à pesquisa científica e estruturado programas de

pós-graduação, também é verdade que perseguiram e obstaculizaram o pleno desenvolvimento de diversas carreiras científicas. Portanto, é possível que o aumento de publicações somente a partir do final da década de 90, reflita um período de atualização dos pesquisadores em face aos novos desafios e demandas da pesquisa em ensino de Física e Filosofia da Física.

O ano de 2005, marcado como o Ano Internacional da Física em celebração aos 100 anos da publicação da teoria da relatividade restrita de Albert Einstein, emerge como um ponto de inflexão significativo. Esse evento pode ter estimulado um renovado interesse na interseção entre Filosofia e Física Moderna, levando a um aumento substancial nas publicações. O quantitativo destaca a influência da teoria da relatividade restrita e seu impacto não apenas na Física, mas também na Filosofia da Ciência. A década de 2010 mostra uma estabilidade relativa, com flutuações anuais, mas sem um declínio significativo no interesse. Destaca-se o ano de 2015, que registra uma ausência de publicações.

O pico de publicações surge novamente em 2019, associado aos cem anos da comprovação experimental da teoria da relatividade geral de Einstein, revelando uma continuidade no interesse gerado pela teoria ao longo do tempo, fomentado por palestras de divulgação do tema em universidades naquele ano. Observou-se em particular um aumento específico nas publicações relacionadas à história e filosofia da cosmologia, indicando um interesse renovado na relação entre conceitos cosmológicos e abordagens filosóficas. Também é notório que as categorias separadamente possuem seus próprios momentos de máximo e mínimo, muitas vezes coincidentes, como por exemplo nos picos de 2005 e 2009, anos nos quais foram encontrados os maiores quantitativos de publicações distribuídos entre as categorias. Nos demais intervalos, percebe-se uma distribuição uniforme de máximos e mínimos, com destaque para a categoria história da física, que se manteve como única categoria em diversos anos de publicação.

A análise do gráfico portanto, aponta para uma interdependência entre eventos científicos, marcos históricos e o desenvolvimento das pesquisas em Filosofia da Física Moderna. O aumento gradativo das pesquisas nessa área no periódico em questão pode refletir um aumento do interesse por parte dos autores sobre a importância da Filosofia da ciência na compreensão da Física Moderna, influenciada por tendências globais e pela formação de pesquisadores brasileiros ao longo das últimas quatro décadas. A partir da década de 1950, houve um aumento no Brasil de pesquisas com maior ênfase

sobre a relevância da adoção de uma abordagem histórico-filosófica da ciência no ensino, visando aprimorar e tornar mais crítica a aprendizagem em Ciências. Já a partir da década de 1970, observou-se um significativo aumento nas investigações relacionadas às propostas de aplicação do ensino contextual dos conceitos científicos em todos os níveis de ensino. (Prestes e Caldeira *apud* Ibers e Saito 2018).

Após isso foi elaborada a tabela 02, na qual se encontra o quantitativo de artigos analisados distribuídos por áreas interdisciplinares nas publicações. A tabela fornece a relação entre as diferentes áreas que podem ser encontradas na mesma publicação, pois muitas vezes os autores procuraram estabelecer uma relação entre a Física e a História da Ciência, ou utilizou-se a Física dentro de um determinado contexto histórico para falar sobre Filosofia ou Sociologia da Física, de forma que estas áreas frequentemente são interdependentes e se correlacionam dentro do texto. As categorias foram definidas antes do início da pesquisa, e classificadas em ordem de complexidade, e nessa complexidade considerou-se o aumento gradativo de termos relacionados a cada área, bem como a relação dos termos entre si, pois verificou-se por exemplo que as publicações que mencionam autores e tópicos de filosofia da física, são majoritariamente encontradas dentro de um contexto histórico previamente descrito, mas nem sempre sociológico, o que ilustra uma maior presença de termos da filosofia da física associados a descrições de tópicos em história da física.

Tabela 02: Quantidade de artigos em função da área de publicação

Área de publicação	Quantidade de artigos
HF	20
FF	6
HSF	3
HFF	7
HFSF	6

Fonte: Autoral

Legenda:

HF – História da Física

FF – Filosofia da Física

HSF – História e Sociologia da Física

HFF – História e Filosofia da Física

HFSF – História, Filosofia e Sociologia da Física

Através da análise da tabela é possível perceber uma discrepância no número de publicações nas diferentes abordagens de áreas como: História, filosofia, sociologia da ciência com as temáticas de Física Moderna. A disparidade nos valores apresentados na tabela pode ser atribuída a diversos fatores, entre eles a preferência e enfoque dos pesquisadores, que desempenha um papel significativo para esta análise. A quantidade de artigos em cada categoria pode refletir o interesse específico de pesquisadores na interseção entre a Filosofia da física moderna, o ensino de física moderna e outras disciplinas afins. Muitos autores exploram por exemplo a interconexão entre a Física, a História da Ciência, a Filosofia e a Sociologia, o que pode levar à categorização de um mesmo artigo em múltiplas áreas.

Tendências na pesquisa acadêmica ao longo do tempo, mudanças nas prioridades de financiamento e evolução dos campos de estudo são fatores que também podem influenciar a distribuição de artigos em cada área analisada. Ribeiro *et al* (2020) destaca que a ampliação da pesquisa científica no Brasil tornou-se viável a partir da integração desta atividade à pós-graduação *stricto sensu* (CURY *apud* RIBEIRO 2020). Este nível de ensino, que teve seu início nas décadas de 1930 e 1940, ganhou apoio na década de 1950 com a criação de duas instituições destinadas à sua consolidação: o Conselho Nacional de Pesquisa (CNP) e a Campanha Nacional de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). A fundação destas instituições estava alinhada aos interesses da chamada modernização da universidade, que a reconhecia como um espaço para a condução de pesquisas propícias ao desenvolvimento tecnológico. Os autores ainda salientam que a disparidade na oferta e distribuição de recursos e financiamento pode resultar na priorização de certas áreas do conhecimento em detrimento de outras, exercendo impacto no avanço científico e tecnológico em setores considerados menos prioritários.

Diferenças na abordagem metodológica dos pesquisadores, como o uso de diferentes metodologias de pesquisa, também podem resultar em variações na quantidade de publicações em cada área. Assim, a discrepância nos valores reflete a diversidade de abordagens, interesses e ênfases na pesquisa acadêmica sobre história, filosofia e sociologia da física moderna e ensino de física moderna, destacando a complexidade e interconexão entre essas áreas.

Correntes filosóficas presentes nos artigos analisados

A classificação por área de interdisciplinaridade se mostrou fundamental para o estudo das correntes filosóficas com enfoque voltado à filosofia da física moderna. Para isso, foi elaborada uma tabela com a quantidade de publicações em função da corrente filosófica apresentada no referencial teórico. Esta análise tem por objetivo uma compreensão estatística da distribuição por área dessas publicações bem como sua correlação com a física moderna e o ensino de física. O critério de análise também foi a busca por palavras chave no texto relacionadas à corrente filosófica em questão, bem como a leitura e interpretação do contexto histórico e filosófico trazido pelo autor, evidenciando tendências filosóficas implícitas no texto. Os valores são apresentados na tabela a seguir:

Tabela 03: Quantidade de artigos em função da corrente filosófica

Corrente Filosófica	Quantidade de publicações
Realismo	9
Positivismo	4
Empirismo	7
Racionalismo	3
Relativismo	2
Epistemologia contemporânea	30

Fonte: autoral

Novamente é possível observar uma discrepância no quantitativo de publicações, não havendo uma distribuição uniforme de artigos em função das correntes filosóficas. A discrepância nos números de publicações encontradas em função da corrente filosófica portanto, reflete a diversidade de abordagens e interesses na interseção entre a filosofia da física moderna, a física moderna e o ensino de física. Vários fatores podem contribuir para essa disparidade, incluindo a relevância histórica de determinadas correntes filosóficas para a compreensão da física moderna, as tendências contemporâneas na pesquisa e as influências de pensadores específicos.

Com base nas correntes filosóficas analisadas, foram organizados os nomes dos autores pertencentes a cada uma, seguindo os critérios definidos nas próprias publicações:

Tabela 04: Filósofos citados em função da corrente filosófica

Corrente Filosófica	Filósofos Citados
Realismo	Parmênides, Leibniz, Kant, Hegel, Nietzsche, Putnam, Bachelard, Toulmin, Bachelard, Granger, Paty, Husserl, Descartes, Spinoza, Schopenhauer, Bergson, Deleuze, Foucault e Dyson
Positivismo	Auguste Comte, Ernst Mach
Empirismo	David Hume
Racionalismo	Descartes, Leibniz, Spinoza, Kant
Relativismo	Feyerabend
Epistemologia Contemporânea	Popper, Kuhn, Lakatos, Putnam, Hanson, Quine, Feyerabend, Toulmin, Granger, Paty

Fonte: autoral

É possível perceber, com base na tabela, que diversos autores são mencionados em cada corrente filosófica, tanto para sua descrição histórica, quanto para justificar seu papel na interpretação das teorias e entidades físicas. O emprego de cada corrente filosófica como meio para a compreensão da física moderna, por parte dos autores, foi também sintetizado e distribuído por tópicos:

Realismo (9 publicações):

O realismo, que advoga a existência de entidades independentes, tem sua base filosófica em pensadores como Aristóteles, mas também encontra apoio em filósofos modernos como Bertrand Russell. Holton (1968) defende que, perto de 1915, houve uma grande mudança na filosofia de Einstein, migrando do positivismo para o realismo. Holton vê essa ruptura devido ao fato de que a relatividade geral, em contraste com a relatividade especial, necessitava de uma ontologia realista para refletir uma realidade objetiva.

Nas publicações encontradas, encontra-se o artigo “Einstein e a Filosofia” de 2006, que discute a influência de filósofos como Ernst Mach, Moritz Schlick e Ernst Cassirer sobre Einstein e sua visão de mundo. Eles abordam questões sobre a natureza da realidade e a importância da filosofia na física. Já em “Conceitos e métodos da física

moderna numa perspectiva histórica” de 2007, embora não cite filósofos diretamente, o autor analisa a revolução na física do século XX sob uma perspectiva histórica, alinhando-se com o Realismo ao enfatizar a busca pela compreensão da realidade objetiva através da Física.

Nas demais publicações encontradas que citam ou descrevem a física moderna e contemporânea baseando-se no realismo como corrente filosófica, encontra-se uma ênfase na descrição de entidades físicas reais, como partículas e campos, que existem independentemente da observação humana. Esses artigos podem explorar as relações e estruturas subjacentes aos fenômenos físicos observados, adotando uma abordagem conhecida como realismo estrutural, buscando descrever teorias que correspondam da melhor forma possível à realidade física. Isso significa que as teorias propostas devem ser consistentes com as observações disponíveis e capazes de fazer previsões precisas sobre fenômenos futuros. Portanto, os autores defendem que em um viés realista da física moderna, evitando-se interpretações puramente instrumentalistas das teorias físicas, sendo necessário enfatizar a importância de uma abordagem objetiva e imparcial na investigação científica.

Positivismo (4 publicações):

O positivismo, impulsionado por Auguste Comte (positivismo sociológico) e Ernst Mach (Positivismo lógico), influenciou a visão de que apenas proposições empiricamente verificáveis têm significado. No contexto da física moderna, essa abordagem foi observada em trabalhos que destacam a importância da observação empírica e da experimentação para a validação de teorias científicas. Os autores recorreram à metodologia positivista para avaliar a fundamentação empírica das teorias e interpretações da física moderna, destacando a necessidade de verificação experimental.

A exemplo da publicação “Os Problemas Epistemológicos da Realidade” de 2003, o autor trata da Compreensibilidade e da Causalidade na Teoria Quântica, discutindo questões epistemológicas na teoria quântica. Embora também se respalde na epistemologia contemporânea de Gaston Bachelard, o autor parte da definição de ciência positivista, mencionando Auguste Comte e sua lei dos três estágios de evolução do conhecimento (teológico, metafísico e científico), afirmando que essa definição em nada se assemelha ao complexo caldeirão da ciência de nossos dias. O autor ainda

defende que o modelo atômico de Bohr de 1913, não se encaixava mais na abordagem positivista por exemplo. Se considerarmos os três estágios do positivismo de Comte, alguém que postula algo tão distante do positivamente dado quanto "um elétron que gira em torno de um núcleo" estaria utilizando a imaginação (imagens pictóricas do átomo e outras mais sutis). Isso, segundo o critério de Comte, pertenceria à fase primitiva teológico-mística da inteligência. A imaginação é uma forma de participação do sujeito para lidar com o objeto e, sem dúvida, constitui uma forma de relação sujeito/objeto que, rigorosamente falando, é inerente a qualquer teoria.

Apesar disso, o autor argumenta que a influência do positivismo ainda se fazia notar na crítica de Heisenberg à teoria atômica de Bohr de 1913. Embora a teoria atômica de Bohr tenha sido muito bem-sucedida e tenha produzido resultados satisfatórios, Heisenberg criticou-a argumentando que uma teoria atômica consistente deve se ater rigorosamente aos observáveis, isto é, às grandezas que podem ser controladas em laboratório. Ele prescreveu metodologicamente que teorias científicas evitassem incorporar entidades que não tivessem uma correspondência direta com os dados imediatos da experiência. Porém, a teoria atômica de Niels Bohr de 1913 utilizava conceitos como órbitas do elétron ao redor do núcleo, raios orbitais, velocidades orbitais do elétron, entre outros, que não eram diretamente observáveis. Heisenberg viu nisso um defeito que precisava ser corrigido. Ele considerava que uma teoria mais consistente sobre a realidade atômica deveria se ater exclusivamente a grandezas observáveis, como as frequências emitidas pelos átomos, as intensidades da luz exibidas nos espectros, entre outros.

As demais publicações que foram acrescentadas à categoria do positivismo, ou citam o positivismo como corrente filosófica incapaz de descrever ou respaldar a ciência contemporânea, ou apenas fazem uma análise histórica dos contextos e teorias físicas nas quais o positivismo, ou serviu de base para sua gênese, ou como obstáculo ao seu desenvolvimento. É comum encontrar nas publicações que tratam do positivismo, argumentos também em defesa da epistemologia contemporânea, evidenciando a quebra de paradigmas na Física moderna com os conceitos do positivismo lógico, a partir da segunda metade do séc. XX.

Empirismo (7 publicações):

O empirismo, com suas raízes em filósofos como John Locke e David Hume, destaca a experiência sensorial como a fonte primária do conhecimento, como apontado no referencial teórico. A exemplo da publicação “A física clássica de cabeça para baixo”, ao mencionar Hume como um exemplo de pensador que não chegou à relatividade da simultaneidade, este artigo toca no empirismo, enfatizando a importância da experiência sensorial na formação do conhecimento. Além disso, destaca como Einstein e seus contemporâneos se engajavam em leituras interdisciplinares, refletindo uma abordagem empírica ampla para compreender o mundo.

Os demais artigos que tratam a física moderna e contemporânea no contexto do empirismo, também tendem a enfatizar a importância da observação direta, experimentação e evidências empíricas na construção do conhecimento científico. Essas publicações citam a valorização e a coleta de dados por meio de observações e experimentos controlados, buscando desenvolver teorias e modelos que descrevam e expliquem os fenômenos observados de forma consistente. A validação empírica das teorias nesse contexto é fundamental para verificar sua validade em relação aos dados observacionais e experimentais disponíveis.

Além disso, há a defesa do argumento de que hipóteses que não podem ser testadas empiricamente ou que carecem de uma base observacional sólida devem ser rejeitadas. Hipóteses que não podem ser verificadas por meio da observação direta ou de experimentos controlados são consideradas especulativas e não científicas. A replicação de experimentos e a consistência dos dados também são valorizadas como indicadores de confiabilidade e validade dos resultados obtidos.

Racionalismo (3 publicações):

O racionalismo, muitas vezes personificado na figura de René Descartes, destaca o papel da razão na construção do conhecimento. A exemplo do artigo “Uma discussão epistemológica sobre a imaginação científica: A construção do conhecimento através da visão de Albert Einstein”, que menciona Gaston Bachelard e Gilles-Gaston Granger, discutindo a Filosofia do Conceito, uma tradição racionalista francesa que busca uma visão renovada da filosofia racionalista.

Nas publicações alocadas na categoria do racionalismo, é possível encontrar uma ênfase na razão, na lógica e na matemática como fontes fundamentais de conhecimento.

Os autores descrevem a valorização da dedução lógica e o raciocínio teórico na formulação de teorias físicas e na interpretação dos fenômenos observados. De acordo com os autores, a matemática desempenha um papel fundamental nesse contexto, sendo amplamente utilizada para expressar as leis da natureza e fazer previsões sobre o comportamento de sistemas físicos. Os artigos que descrevem o racionalismo buscam teorias que sejam coerentes, elegantes e logicamente consistentes, procurando explicar uma ampla variedade de fenômenos físicos de forma integrada.

Além disso, há uma valorização da universalidade das leis naturais, com a crença de que as mesmas leis se aplicam em diferentes contextos e escalas. Isso reflete a busca por teorias que tenham aplicabilidade em diversas áreas da física e em diferentes situações experimentais. No contexto do racionalismo, os autores também citam a tendência a aceitação da existência de verdades *a priori*, ou seja, verdades que podem ser conhecidas independentemente da experiência sensorial. Isso significa que certos princípios fundamentais da física são considerados verdadeiros por sua própria natureza, sem dependerem de confirmação empírica.

Relativismo (2 publicações):

O relativismo, com sua ênfase na dependência do contexto cultural e histórico, pode ser explorado em relação às teorias físicas modernas. Na publicação “Einstein e o Ano Mundial da Física”, os autores levantam a discussão sobre a relação entre física e filosofia, destacando as dificuldades encontradas pela relatividade em se mostrar como um campo experimentalmente provável, indo de encontro às abordagens positivistas que imperavam nos círculos científicos ainda no início do séc. XX. Encontra-se nesta abordagem a valorização da diversidade de perspectivas e interpretações dos fenômenos físicos. Esses artigos pontuam que em uma perspectiva realista verifica-se a tendência a reconhecer que não há uma única verdade absoluta e objetiva, mas sim múltiplas maneiras legítimas de entender e interpretar a realidade física.

Além disso, os autores descrevem ainda o contexto cultural e social que influencia a produção e interpretação do conhecimento científico. É explorada a descrição de como diferentes culturas e contextos sociais moldam as concepções sobre a física moderna e como essas perspectivas variadas valorizam a compreensão global dos fenômenos naturais, evidenciando a inevitabilidade da mudança e da incerteza, a exemplo das próprias consequências interpretativas da mecânica quântica.

Epistemologia Contemporânea (30 publicações):

Além de possuir a maior quantidade de referências no quantitativo de publicações, verifica-se uma análise profunda sobre a natureza e validade do conhecimento científico, incorporando tanto considerações epistemológicas quanto ontológicas. Os autores se concentram em questões como a formação e evolução das teorias científicas, examinando como são construídas, testadas e revisadas à luz de novas evidências, alinhando-se à epistemologia. Além disso, os textos consideram a influência dos contextos sociais, culturais e históricos na produção do conhecimento científico, aspecto este que tem relevância tanto na epistemologia quanto na sociologia da ciência. Considerações sobre como os fatores externos afetam a prática científica e a aceitação de teorias também foram identificados, sugerindo uma compreensão mais ampla da ciência como uma atividade humana situada em um contexto mais amplo. Autores como Karl Popper e Thomas Kuhn são amplamente citados, tanto no escopo das suas ideias, quanto na repetição de termos ao longo do texto, sendo encontrados em diversas referências, especialmente nas publicações que consideram a filosofia da física ou associadas a história e a sociologia, de forma a demonstrar como a física depende de um contexto histórico e social para se desenvolver.

Para Cupani (2009), as ideias de Karl Popper surgiram simultaneamente aos esforços do Círculo de Viena, (1902-1994). Em diálogo com os empiristas lógicos, Popper criticava diversas teses desses pensadores, especialmente a convicção de que a ciência estava desvinculada da metafísica e de que a filosofia da ciência consistia apenas na análise da linguagem científica. Para Popper, a missão da filosofia da ciência era identificar a lógica da pesquisa, concebendo o processo de produção do conhecimento como evolutivo, impulsionado pela interação das teorias propostas para explicar os eventos e seu teste, que poderia resultar em sua rejeição - como expresso em sua obra mais importante, "A Lógica da Pesquisa Científica". Popper via nas conjecturas e refutações a essência do jogo científico. Ele argumentava que, embora as teorias científicas fossem distintas das doutrinas metafísicas, muitas vezes continham suposições metafísicas ou derivavam delas.

Já Rosario (2018), acrescenta que Popper contribui com o conceito de falsificacionismo, que enfatiza a importância de testar e refutar teorias. Introduzir os alunos a esse conceito pode promover uma mentalidade crítica e experimental, encorajando-os a questionar e testar ideias. Na publicação "O que é o Real? A busca

inconclusa sobre o significado da física quântica” de 2019, o autor discorre sobre a obra Adam Becker, que segundo o autor, afirma que na década de 1960 a chamada filosofia pós-positivista da ciência (através de nomes como Hilary Putnam, Karl Popper, Norwood Russell Hanson, W. V. O. Quine, P. Feyerabend e T. Kuhn) questionou a hegemonia do positivismo. Para ele, foi necessária uma mudança epistemológica uma vez que o positivismo não se sustentava em face às recentes descobertas da mecânica quântica. O argumento de Becker é de que uma base filosófica fundamental para a interpretação de Copenhague estava em declínio na mesma época em que os chamados "dissidentes quânticos" começaram a questionar essa interpretação. Esse declínio filosófico, segundo ele, de certa forma contribuiu para o ressurgimento da pesquisa nos fundamentos da mecânica quântica

A perspectiva de Thomas Kuhn sobre as revoluções científicas é também evidenciada nas referências ao processo de desenvolvimento da física moderna. SOUSA (2019) afirma que para Kuhn, a ciência não avança de maneira linear, mas passa por mudanças paradigmáticas que transformam fundamentalmente nossa compreensão do mundo. Kuhn enfoca a ciência como uma atividade social e histórica, cujos sujeitos são as comunidades científicas e o conjunto de convicções que elas professam, denominado de paradigma. Ele destaca as mudanças radicais que a ciência experimenta periodicamente, conhecidas como "revoluções". Segundo Kuhn, a ciência passa por estágios sucessivos de desenvolvimento, alguns cumulativos (mudança intraparadigmática) e outros não cumulativos (mudança interparadigmática). No estágio pré-paradigmático, diversas escolas ou grupos competem para estabelecer os fundamentos de um campo de estudo. Essas disputas são resolvidas por meio da persuasão, resultando no consenso em torno de um único paradigma, que passa a guiar as pesquisas desse campo. Isso marca o estágio paradigmático ou de maturidade da ciência, onde os cientistas se dedicam a desenvolver, articular e aplicar o paradigma na explicação de novos fenômenos ou na resolução de problemas. (SEABRA, 2012, p. 03.)

Ainda para o autor, durante a pesquisa de Ciência Normal, realizada nesse estágio, surgem anomalias, problemas que resistem à abordagem do paradigma vigente, levando a uma crise na comunidade científica. Essa crise divide os cientistas em dois grupos: aqueles que tentam resolver as anomalias dentro do paradigma existente e os que buscam uma nova abordagem, praticando o que Kuhn chama de Ciência Extraordinária. Essa fase pode culminar na descoberta de um novo paradigma,

desencadeando uma revolução científica. Nesse processo, ocorre uma disputa entre tradições paradigmáticas rivais. Se os defensores do novo paradigma conseguirem persuadir os adeptos do antigo de que sua proposta é mais promissora para orientar a prática científica, ocorre uma revolução científica, marcando uma mudança fundamental na visão e prática científica.

No artigo “A física dos quarks e a epistemologia” de 2007, Marco Antônio Moreira afirma por exemplo que a física dos quarks pode ser usada para ilustrar conceitos propostos por Thomas Kuhn, como paradigma e ciência normal. Ele afirma que a física dos quarks parece se encaixar bem no que Kuhn descreve como paradigma. É provável que um novo paradigma surja, não de maneira tão revolucionária como Kuhn propôs, mas sim de forma evolutiva. Moreira enfatiza que para Kuhn as teorias físicas nunca são definitivas; estão sempre em evolução. Certamente, novas ideias e conjecturas surgirão no campo da física. Para ele a teoria dos quarks também exemplifica o conceito de ciência normal de Kuhn: é a atividade na qual a maioria dos cientistas emprega quase todo o seu tempo, baseada na crença de que a comunidade científica possui teorias e modelos confiáveis sobre como o mundo é. De acordo com Chalmers *apud* Moreira, o cientista normal trabalha confiantemente dentro de uma área bem definida ditada por um paradigma. O paradigma apresenta um conjunto de problemas definidos juntamente com os métodos que se acredita serem adequados para sua solução.

Outro autor da epistemologia evidenciado nos artigos é o filósofo Imre Lakatos. Para Borges Neto (2008), a melhor maneira de se iniciar uma pesquisa, de acordo com Lakatos, não é com uma hipótese falseável e consistente, mas sim com um Programa de Investigação Científica (PIC). Esse programa consiste essencialmente em um núcleo e uma heurística. O núcleo compreende um conjunto de proposições metafísicas, ou seja, proposições que, por decisão metodológica, são consideradas não testáveis. Já a heurística consiste em um conjunto de regras metodológicas, que podem ser divididas em heurística negativa e positiva. A heurística negativa orienta sobre quais direções de pesquisa devem ser evitadas, enquanto a heurística positiva indica as direções a serem seguidas. Para Lakatos, o programa avança através da elaboração de uma série de modelos, que são diferentes entre si, mas compartilham o mesmo núcleo e seguem a mesma heurística. Na maioria dos casos, esses modelos se diferenciam devido a hipóteses auxiliares distintas. Em algumas situações, podem surgir diferenças entre os

modelos resultantes de mudanças criativas na heurística positiva, ou seja, de reavaliações do plano de desenvolvimento do programa.

No artigo “Para o ensino do átomo de Bohr no nível médio” de 2005, o autor afirma que para Lakatos, os cientistas não são irracionais ao continuarem a desenvolver um programa de investigação mesmo diante de um grande número de anomalias. A heurística positiva do programa está lá para orientá-los. A construção de modelos de crescente complexidade, em consonância com a heurística positiva, é uma etapa natural e previsível no aprimoramento de um programa. Por isso, o autor afirma que Lakatos considera irrelevante, e até mesmo sem sentido, a refutação prematura dos primeiros modelos de uma linha de pesquisa. Para ele, a dialética dos programas de investigação não implica uma sequência alternada de conjecturas especulativas e refutações empíricas. Na verdade, Lakatos vê como uma "crueldade metodológica" a refutação precoce dos primeiros modelos de uma linha de pesquisa, os quais se sabe que necessitam de tempo para serem reformulados antes de serem submetidos ao teste da experiência.

Nas demais publicações classificadas dentro da epistemologia contemporânea, considerou-se a perpetuação das ideias dos autores acima mencionados bem como de outros influentes epistemólogos do séc. XX, muitas vezes sendo comparadas e complementadas para descrever o surgimento dos conceitos de física moderna e contemporânea.

Temas da Física Moderna e Contemporânea explorados no levantamento

Após a análise das correntes filosóficas presentes nas publicações, foi feito um levantamento das áreas da física moderna e contemporânea mais exploradas pelos autores, bem como a análise histórica, social e filosófica do desenvolvimento dessas áreas, muitas vezes correlacionadas. O levantamento também considerou como critério de análise a busca por palavras chave, utilizando termos específicos inerentes a cada área da física moderna, através do qual foi possível dividir as publicações em seis categorias, sendo estas a cosmologia, física atômica, física de partículas, mecânica quântica, teoria da relatividade e eletromagnetismo. O número de publicações em função das áreas da física é ilustrado pela tabela a seguir:

Tabela 05: Quantidade de artigos em função da área da Física

Área da Física	Quantidade de publicações
Cosmologia	5
Física Atômica	5
Física de partículas	4
Mecânica Quântica	14
Teoria da relatividade	17

Fonte: autoral

Com base no quantitativo de publicações obtido por área, foi feita uma análise das respectivas áreas da física com as correntes filosóficas utilizadas no referencial teórico, destacando as relações de interpretação dessas áreas da física sob o viés de cada corrente filosófica:

Cosmologia (5 publicações):

Na Cosmologia, a presença de correntes filosóficas como o realismo é encontrada na tentativa de interpretação das teorias cosmológicas. O trabalho de Bertrand Russell, especialmente em "A Conquista da Felicidade" (1930), lança luz sobre como a filosofia realista pode fundamentar a crença em modelos cosmológicos como representações da realidade objetiva. Encontram-se nesta categoria publicações que tratam da evolução dos conceitos cosmológicos, diferenciando-se das publicações classificadas na relatividade geral devido à ênfase na expansão do universo e suas consequências. Embora cite conceitos de relatividade geral, os artigos em questão fazem um resgate histórico da gênese da teoria do Big Bang, descrevendo seu desenvolvimento histórico e comprovação experimental, bem como referências ao futuro das pesquisas na área. Verificou-se também uma relação com as tendências de publicação em relatividade geral, exemplificada pelo pico de publicações no ano de 2005, considerado ano mundial da Física em comemoração de cem anos da publicação da relatividade especial por Albert Einstein. Naquele ano, encontram-se diversas publicações que abordam a relatividade do ponto de vista histórico, mas há por exemplo o artigo "Cem anos de descobertas em cosmologia e novos desafios para o Século XXI", no qual o autor descreve a cosmologia relativística e o trabalho de Edwin Hubble

sobre a expansão do universo, assim como descreve a origem dos estudo sobre nebulosas e galáxias, evidenciando uma natureza mais astronômica da pesquisa e distanciando-se da descrição apenas físico-matemática do universo, descrevendo as entidades como objetos de estudo em si. Há ainda uma intersecção clara com conceitos da filosofia, em especial a epistemologia contemporânea. Para contextualizar a história e evidenciar a observação indireta da observação de estrelas e aglomerados por meio de diversas técnicas astronômicas, no artigo “Eclipses- revelando a vida secreta das estrelas e da natureza humana”, o autor menciona que muitos cientistas adotam, consciente ou inconscientemente, uma postura kantiana, acreditando que a realidade é moldada por ideias e teorias. Em última análise, o autor afirma que a realidade é algo que não podemos ver ou que ainda carece de descrição completa. Ela permanece oculta por trás de uma densa cortina de fumaça, onde uma nova teoria deve ter o vigor necessário para dissipar essa fumaça, afastando-a. Para ele, a física clássica pode ser considerada kantiana, pois opera com base no Princípio da Causalidade, que pressupõe uma física regida por leis determinísticas. Esse princípio legitima a busca por leis naturais, mesmo que sua existência seja apenas um desejo do cientista.

A obtenção do quantitativo de publicações sobre cosmologia é fundamental para fomentar também o ensino de física. As publicações encontradas oferecem uma diversidade de perspectivas teóricas e observacionais sobre o universo, permitindo aos educadores e estudantes explorar uma variedade de modelos cosmológicos. Embora não sejam diretamente relacionados à área de ensino e não possuam propostas didáticas para o ensino de cosmologia na educação básica, os professores podem utilizar as publicações para a elaboração de material didático sobre a evolução da cosmologia como área de estudo, descrevendo como novas descobertas e teorias estão sempre emergindo, garantindo que o material de ensino esteja atualizado e reflita os avanços mais recentes na pesquisa. Isso é especialmente importante porque a cosmologia envolve uma variedade de disciplinas, incluindo física, astronomia, matemática e filosofia, permitindo a integração interdisciplinar e uma compreensão mais ampla do universo por parte do estudante.

Física Atômica (5 publicações):

Foram adicionadas nesta categoria as publicações que se referem ao estudo dos átomos e das moléculas, explorando sua estrutura, comportamento e propriedades, bem como os processos que ocorrem dentro dos átomos, como excitação e ionização. Além

de mencionar suas aplicações abrangendo uma variedade de campos, incluindo espectroscopia, física de plasma e física de materiais, investigou-se os aspectos históricos e conceituais, bem como possíveis relações com campos da filosofia.

Verificou-se também que os autores não apenas descrevem as entidades sob uma perspectiva matemática, mas também histórica. A exemplo da publicação “Os 100 anos do átomo de Bohr”, os autores introduzem o modelo atômico de Bohr a partir de sua concepção, mencionando que há cem anos, o físico dinamarquês publicou um dos trabalhos mais importantes da física do século XX, intitulado "On the Constitution of Atoms and Molecules", no qual apresentou pela primeira vez um modelo do átomo baseado em fatos experimentais e na hipótese de quantização de energia de Max Planck. Para os autores, embora o modelo de Bohr e sua extensão, principalmente atribuída a Sommerfeld, tenham sido posteriormente superados pelas mecânicas quânticas de Heisenberg e Schrödinger, ele ainda é a porta de entrada para o estudo da estrutura interna da matéria. A evolução da descrição matemática deste modelo é feita de forma gradual, especificando como cada variável foi introduzida e modificada, a partir de elementos também comuns à mecânica quântica.

Outro aspecto interessante da publicação é o fato de os autores considerarem a importância pedagógica do modelo de Bohr, afirmando que independentemente de seu valor histórico e epistemológico, o modelo de Bohr pode servir como porta de entrada para os alunos do ensino médio e graduação ao estudo do mundo quântico. Este modelo também pode ser discutido conceitualmente em sala de aula, sem a necessidade de cálculos muito complexos. As demais publicações consideradas nesta categoria também tratam da descrição de modelos atômicos e suas propriedades, descrevendo processos internos dos átomos e suas peculiaridades, seja sob o viés matemático ou conceitual. Em muitas delas, ocorre uma inevitável intersecção com a mecânica quântica, diferenciando-se pelo foco na descrição das entidades atômicas em si.

Física de Partículas (4 publicações):

Nesta categoria foram adicionadas as publicações que se referem ao estudo das partículas elementares e das interações fundamentais entre elas, incluindo quarks, léptons, bósons e outras partículas subatômicas. Considerou-se também a descrição de fenômenos em escalas ainda menores do que a física atômica, geralmente na ordem de 10^{-18} metros. No artigo “A física dos quarks e a epistemologia” de 2006, Marco

Antônio Moreira fala sobre a relação entre a física de partículas e a epistemologia. O autor menciona que frequentemente se acredita que as teorias físicas são desenvolvidas para explicar observações. Embora pareça lógico, a relação entre teoria e experimentação é dialética, alimentando e dirigindo uma à outra. A física de partículas, especialmente a teoria dos quarks, exemplifica essa interdependência. Gell-Mann e Zweig postularam a existência dos quarks com base em questões de simetria, refletindo a interação entre teoria e experimentação na física de partículas. Novas partículas são postuladas para explicar achados experimentais inesperados, enquanto experimentos são conduzidos para detectar partículas previstas teoricamente, muitas vezes utilizando aceleradores/colisores.

Para Moreira (2006), a física de partículas ainda pode ser utilizada, de forma tentativa, para ilustrar conceitos propostos por Thomas Kuhn, tal como o paradigma e a ciência normal. Segundo Kuhn, os paradigmas são "realizações científicas universalmente reconhecidas que, por um período, fornecem problemas e soluções exemplares para uma comunidade de praticantes de uma ciência". A física dos quarks parece ser um bom exemplo do que Kuhn descreve como paradigma. Provavelmente, um novo paradigma surgirá, não necessariamente de forma tão revolucionária como Kuhn propõe, mas sim de maneira evolutiva.

Já Pena (2007) no artigo "Físicos, mésons e política: a dinâmica da ciência na sociedade", faz uma leitura da obra de Ana Maria de Andrade, realizando uma descrição histórica da participação do físico César Lattes no processo de descoberta da partícula méson pi, discorrendo também sobre as questões político-financeiras da criação, fundação, construção e expansão do CBPF (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas), destacando a aproximação entre políticos, militares e cientistas, assim como o começo, meio e fim do projeto de montagem e construção dos sincrociclotrons no Brasil. Verifica-se portanto, nesta categoria, uma amplitude de publicações com enfoques diversos, tanto na física de partículas em si, quanto na contextualização histórica e social.

Mecânica Quântica (14 publicações):

As publicações relacionadas à mecânica quântica foram identificadas a partir de conceitos fundamentais para a compreensão do mundo subatômico, introduzindo termos como superposição, entrelaçamento e dualidade onda-partícula. Foram consideradas

também às referências aos principais cientistas da área, bem como a contextualização histórica de seu desenvolvimento. Assim como em outras categorias, tanto foi possível encontrar artigos com ênfase na abordagem física e matemática, como aqueles com um enfoque na história da mecânica quântica, seu desenvolvimento e consequências epistemológicas. Na publicação “Certezas e incertezas sobre as relações de Heisenberg”, de 2005, Sílvio Chibeni discute as relações de Heisenberg, usualmente denominadas de “princípio da incerteza”. A abordagem adotada pelo autor é primordialmente conceitual, utilizando-se de referências históricas para auxiliar a exposição. Distinguem-se três interpretações principais das relações, cada uma advindo de bases distintas e conduzindo a consequências físicas e filosóficas diferentes.

O autor afirma ainda que é possível chegar às relações de Heisenberg partindo da suposição de que os objetos quânticos, qualquer que seja sua natureza exata, são representáveis por pacotes de onda. Muito embora a questão da dualidade onda-partícula esteja presente no artigo original de Heisenberg, a perspectiva pela qual inicia a discussão enfatiza a concepção operacionista dos conceitos físicos. De acordo com essa concepção, a legitimidade física de um conceito físico e o significado do termo que o designa são determinados pela existência de uma operação experimental claramente especificada. Por meio dessa operação, é estabelecida a aplicação do conceito e, no caso de conceitos quantitativos, é possível atribuir-lhes um valor numérico preciso. Essa abordagem operacionista estava naturalmente vinculada à perspectiva filosófica positivista lógica que predominou no cenário intelectual da primeira metade do século XX.

Já Marco Antônio Moreira, em “Uma Proposta para o Ensino de Mecânica Quântica” de 2001, fornece uma justificativa para o ensino de mecânica quântica em cursos de engenharia, utilizando-se de uma contextualização progressiva baseada na história, descrevendo a implementação do projeto a partir do ano de 1999, em turmas de engenharia da UFRGS a partir de grupos controle, sendo que para um dos grupos optou-se pela abordagem tradicional e para o outro a metodologia exemplificada no artigo, evidenciando que o segundo grupo conseguiu, ao final da pesquisa, estabelecer uma maior relação entre os conceitos físicos apresentados.

As demais publicações com enfoque em mecânica quântica também tiveram como critério a presença de conceitos e a descrição histórica de seu desenvolvimento,

sendo também realizada a busca por palavras chave, incluindo termos inerentes à área e nomes de cientistas e pesquisadores.

Teoria da Relatividade (17 publicações):

O elevado número de publicações nesta área pode estar relacionado à importância histórica atribuída à relatividade, como ponto de inflexão na ciência moderna. A epistemologia contemporânea, conforme discutida por Thomas Kuhn, é citada no entendimento da quebra de paradigmas na física trazidos pela relatividade. Essa análise destaca que as correntes filosóficas moldam não apenas as interpretações teóricas da física moderna em si, mas também a quantidade de publicações em cada área. A partir dessa perspectiva, é possível perceber que para os autores, a filosofia não apenas acompanha, mas muitas vezes orienta o desenvolvimento da física moderna bem como de suas interpretações.

É interessante notar que o quantitativo de publicações sobre relatividade está distribuído ao longo de todo o período analisado, porém sofre um aumento significativo em 2005 e 2019. Em 2005 devido ao ano internacional da física e comemoração aos cem anos da publicação da relatividade restrita, e em 2019 pelos cem anos da comprovação experimental da relatividade geral. A maioria dessas publicações possuem uma ênfase no aspecto histórico dessa comprovação, como por exemplo em “Apresentação- Cem anos da observação do eclipse solar de Sobral”, que conta detalhadamente a trajetória da equipe de astrônomos que esteve no Brasil para tal feito, comprovando experimentalmente a relatividade geral. Já em “Eddington e o encurvamento gravitacional da luz”, é retratada a história da equipe que realizou a observação do eclipse na ilha do Príncipe, em simultâneo à observação feita no Brasil. Em “Henrique Morize e o eclipse solar total de maio de 1919” é feito um panorama da participação brasileira na observação do eclipse em Sobral, tanto sob o viés político quanto científico.

A existência de publicações que tratam sobre a teoria da relatividade também impacta o ensino de física, por diversas razões. A Relatividade é uma das bases da física moderna e tem profundas implicações em áreas como astrofísica, cosmologia e tecnologia. Ter acesso a publicações na área, especialmente em um periódico de ensino, estimula o incentivo a propostas didáticas e implementação da física moderna no ensino médio. A diversidade de perspectivas, tanto históricas quanto conceituais e

matemáticas, oferece a oportunidade de entender a teoria por meio de diferentes perspectivas teóricas, experimentais e inclusive computacionais. As aplicações práticas da teoria da relatividade também são destacadas através dessas publicações, descrevendo como ela influencia a tecnologia moderna e nossa compreensão do universo, desde sistemas de posicionamento global até a compreensão da estrutura do espaço-tempo. Em suma, essas publicações abordam não apenas sua descrição matemática, mas também fazem uma análise e descrição do contexto histórico da época, tanto do surgimento da relatividade quanto de sua comprovação experimental.

Contribuições para o ensino de Física

Verificou-se que a maioria dos artigos analisados não se concentra diretamente em abordagens didáticas para o ensino de física, totalizando apenas quatro artigos cuja proposta seja uma aplicação direta em sala de aula, sendo os outros trinta e oito com enfoque apenas acadêmico. Esse quantitativo demonstra uma ausência de publicações que possuam propostas de intervenção direta, tanto no campo teórico quanto prático, havendo poucas aplicações em sala de aula com grupos controle por exemplo. A ausência pode ser atribuída a diversas razões, revelando uma ênfase histórica e filosófica ao invés de aplicações no ensino. Nessa perspectiva, o principal objetivo desses textos é explorar as interconexões entre a história, a filosofia e a física, sem, contudo, terem sido concebidos para desenvolver intervenções didáticas específicas para aplicação em salas de aula.

Ao examinar o perfil acadêmico dos autores desses artigos, nota-se que eles são majoritariamente filósofos, historiadores da ciência ou físicos teóricos. Sua concentração recai na pesquisa e na análise conceitual, em detrimento do desenvolvimento de estratégias para o ensino básico. A falta de integração interdisciplinar no ensino de física baseado em filosofia e história da ciência é destacada como uma característica relevante. Isso decorre da necessidade, muitas vezes ausente em pesquisas acadêmicas puras, de uma abordagem interdisciplinar entre essas áreas. Os autores, ao se concentrarem em seus campos específicos, podem limitar a colaboração entre disciplinas.

As propostas de intervenção didática também enfrentam diversas dificuldades na implementação, exigindo recursos consideráveis, como financiamento, tempo e

cooperação de escolas e professores. Essas barreiras práticas podem desencorajar os pesquisadores a buscar a implementação direta desse tipo de pesquisa em salas de aula. A implementação em sala de aula é considerada uma etapa subsequente e, portanto, não está presente em trinta e oito dos quarenta e dois artigos examinados. É preciso considerar também que o quantitativo geral de publicações só ganhou expressão a partir dos anos 2000, refletindo um baixo volume durante as décadas de 80 e 90, que pode ser atribuído a diversos fatores, inclusive o processo de redemocratização do país após o regime militar, mas não é possível apontar com base nessa pesquisa, uma relação direta entre essa circunstância específica e o número de artigos encontrados no periódico.

Essas são algumas das possíveis razões para o baixo número de publicações voltadas diretamente à aplicação em sala de aula obtidas a partir deste levantamento, sendo necessário avaliar quais as principais causas para este quantitativo. É possível que haja uma distorção deste volume na Revista Brasileira de Ensino de Física em relação a uma média nacional, sendo necessário avaliar se o mesmo padrão é evidenciado em outros periódicos da área de Ensino. É possível também que, em média, nos demais periódicos haja também um baixo volume de publicações voltadas a aplicações em sala de aula, mas não é possível concluir e elaborar um panorama geral sem a análise quantitativa e qualitativa desses periódicos.

Ainda assim, embora a introdução da história, filosofia e sociologia no ensino de física moderna possa requerer uma abordagem pedagógica diferente e que carece de propostas de intervenção mais efetivas, ela pode levar a uma aprendizagem mais profunda e significativa. Os alunos não apenas memorizam fórmulas, mas também desenvolvem habilidades de pensamento crítico, compreendem a ciência como uma atividade humana e veem como a física está enraizada na sociedade e na cultura. Isso pode resultar em uma absorção mais eficaz dos conteúdos de física moderna e em uma apreciação mais profunda da disciplina. Além disso, é necessário considerar a influência do contexto social na ciência e debates sobre as implicações filosóficas das teorias físicas, bem como a análise dos itinerários formativos voltados ao ensino médio. Esse processo em conjunto, levando em conta a contextualização do ensino de física moderna, o estímulo ao desenvolvimento de habilidades críticas, pensamento reflexivo e apreciação pela complexidade da ciência, percebendo desta forma a educação científica não apenas como transmissão de fatos, mas como instrumento para a exploração e o questionamento.

Conclusões

Através deste levantamento, verifica-se que, para muitos autores, a intersecção entre a história, filosofia e sociologia da física moderna e contemporânea desempenha um papel fundamental no ensino da física, proporcionando aos alunos uma compreensão mais profunda e rica da disciplina. Embora em muitos casos não haja uma proposta efetiva de ensino e apenas uma análise de contexto, há a defesa de que o estudo dessas disciplinas fornece uma perspectiva crítica que não apenas contextualiza os desenvolvimentos científicos, mas também aborda questões epistemológicas, ontológicas e socioculturais que cercam a física. Neste contexto, autores relacionados à epistemologia contemporânea como Thomas Kuhn e Karl Popper têm um destaque significativo nas pesquisas por suas contribuições para a compreensão da natureza da ciência e do desenvolvimento de teorias científicas, pois são três dos autores mencionados com maior frequência pelas publicações.

Verificou-se também a presença de diversas referências aos “cientistas filósofos”, termo usado para designar profissionais que combinam tanto a prática científica quanto a reflexão filosófica em seu trabalho, se envolvendo não apenas na realização de experimentos e na formulação de teorias, mas também na análise crítica das suposições subjacentes, nas implicações metafísicas e epistemológicas de suas descobertas e nas questões éticas que surgem da aplicação de seu conhecimento. Um exemplo visto no contexto da física moderna pode ser encontrado em Albert Einstein. É perceptível a ênfase dada nas publicações ao trabalho reflexivo de Einstein acerca da teoria da relatividade, levantando questões profundas sobre a natureza da realidade, a relação entre observador e observado, e a natureza do conhecimento científico em si. Outro exemplo encontrado é Werner Heisenberg, um dos fundadores da mecânica quântica. Heisenberg é descrito como profundamente envolvido em debates filosóficos sobre a interpretação da teoria quântica, como o princípio da incerteza e sua relação com o determinismo e a causalidade, natureza da realidade e do conhecimento.

A história do ensino da física moderna, no contexto geral das publicações que tratam das aplicações didáticas, revela que, por muito tempo a educação científica se concentrou predominantemente na transmissão de fatos e fórmulas, negligenciando os aspectos históricos, filosóficos e sociológicos da disciplina. No entanto, o paradigma educacional está mudando à medida que se reconhece a importância de uma abordagem mais abrangente e contextualizada no ensino da física moderna, acompanhando o

crescimento do volume de publicações relacionadas à História, Filosofia e Sociologia da Física moderna. Essas disciplinas ajudam os estudantes a compreender como as teorias físicas se desenvolvem ao longo do tempo e como a ciência é influenciada por fatores sociais, culturais e filosóficos. Isso permite que os alunos não apenas aprendam os conceitos, mas também adquiram uma compreensão crítica do conhecimento científico.

Verifica-se, portanto, a necessidade da incorporação de abordagens interdisciplinares que envolvam a história, filosofia e sociologia da física no contexto de sala de aula. Essa abordagem poderia ser implementada por meio de aulas que integrem os contextos históricos, filosóficos e sociológicos de descobertas e teorias científicas fundamentais para o ensino de Física moderna. É possível que as publicações analisadas não representem completamente o cenário atual de pesquisa em ensino de física no Brasil. Artigos que enfatizam a aplicação prática e metodológica do ensino podem não estar refletidos nessa amostra ou até mesmo neste periódico analisado, mesmo que eles existam em outras fontes de literatura, haja vista que existem diversos periódicos voltados ao ensino de ciências no Brasil, tanto na área de Física quanto de Filosofia.

Dessa forma, admite-se que possa haver certa distorção na análise se considerarmos o cenário de publicações a nível nacional. Para tal, seria necessário submeter à mesma análise, volume semelhante de artigos no mesmo intervalo de quatro décadas, de artigos publicados em outros periódicos da área de Ensino de Física, de Filosofia e Epistemologia. Havendo uma repetição de padrões convergindo para as mesmas conclusões, seria possível obter um panorama mais generalizado a respeito do cenário de publicações na área. É importante notar que a pesquisa se baseou em uma amostra específica de artigos acadêmicos e conseqüentemente, as conclusões e observações obtidas podem não ser representativas do corpo total de pesquisa em ensino de física fundamentado na filosofia e história da ciência.

Além disso, deve-se considerar o corte temporal da análise. Os artigos foram examinados a partir de uma seleção de publicações ao longo de quatro décadas em um periódico específico, a Revista Brasileira de Ensino de Física. Entretanto é possível que novos artigos ou abordagens tenham surgido desde então, o que pode não estar refletido na análise. A pesquisa concentrou-se principalmente na identificação de conteúdo filosófico e histórico, bem como em outros tópicos específicos, como autores e correntes filosóficas. No entanto, é importante destacar que outras dimensões do ensino

de física, como a avaliação de estudantes, estratégias pedagógicas, desafios práticos, entre outros, não foram abordadas.

Outro ponto a considerar é a falta de dados empíricos nesta pesquisa. Não houve coleta de dados em salas de aula ou escolas; a análise limitou-se à avaliação de publicações que contêm ou não abordagens de ensino baseadas na filosofia, sociologia e história da ciência. A complexidade intrínseca ao campo de ensino de física com base na filosofia, história e sociologia da ciência é, portanto, multidisciplinar, envolvendo educação, filosofia, história e física. Essa característica torna a pesquisa complexa e exige uma abordagem interdisciplinar.

É relevante também destacar que as conclusões derivadas desta pesquisa podem não ser generalizáveis para todas as regiões geográficas, níveis de ensino ou contextos culturais. Cada contexto específico pode apresentar variações significativas que não foram contempladas na amostra de artigos analisados. Ademais, é essencial reconhecer a evolução contínua do campo de ensino de física. Novas abordagens e estratégias estão sendo constantemente desenvolvidas. Portanto, esta pesquisa representa apenas um instantâneo em um ponto específico no tempo e não leva em consideração desenvolvimentos subsequentes ou anteriores no campo.

Referências Bibliográficas

ALVES, Rubem. **Filosofia da Ciência: introdução ao jogo e suas regras**. 22ª ed. São Paulo: Brasiliense, 2002.

BARBOSA, Caio Fernandes. **Olhares sobre a Capes: ciência e política na ditadura militar (1964-1985)**. Revista de História, 1, 2 (2009), pp. 99-109.

CAVALCANTE, Carolina Miranda. **Filosofia da ciência e metodologia econômica: do positivismo lógico ao realismo crítico**. Caderno de História e Filosofia da Ciência, Campinas, Série 4, v. 1, n. 2, p. 263-300, jul.-dez. 2015.

CHIBENI, Silvio Seno. **Descartes e o realismo científico**. Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, Unicamp, Campinas, 1993.

CHIBENI, Silvio Seno. (1990). **Descartes, Locke, Berkeley, Hume e o Realismo Científico**. Primeira Versão, IFCH-Unicamp, n. 25, 1990, 40 pp.

COSTA, Mauro Alves da. **História e filosofia da ciência e implicações para o ensino** / Mauro Alves da Costa. – Florianópolis: Publicações do IF-SC, 2010.

CRUZ, Robson Nascimento da; CILLO, Eduardo Neves Pedrosa de. **Do mecanicismo ao selecionismo: uma breve contextualização da transição do behaviorismo radical**. Psicologia, teoria e pesquisa, v. 24, n. 03, p. 375-385, UFMG, Belo Horizonte, 2008.

CUPANI, Alberto Oscar. **Filosofia da Ciência** – Florianópolis: FILOSOFIA/EAD/UFSC, 2009.

FERREIRA, Mariana Toledo. **Gênese e desenvolvimento de um fato científico**. PLURAN, Revista do programa de pós-graduação em sociologia da USP, São Paulo, v. 19.2, 2012, p. 165-169.

GHIZONI, Henrique Sobrinho. **Interestelar: Os efeitos relativísticos na ficção científica**. Monografia (Licenciatura em Física). 46f. Departamento de Física. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2016.

IBERS, Patrick, SAITO, Márcia. **História e filosofia da ciência no ensino de física: a abordagem proposta nas diretrizes curriculares da educação básica do estado do Paraná**. IV ENCONTRO REGIONAL DE ENSINO DE FÍSICA (EREF): Perspectivas e desafios para o ensino de física. Foz do Iguaçu PR, 2018.

KÖHNLEIN, Janete Francisca Klein; PEDUZZI, Luiz. **Uma discussão sobre a natureza da Ciência no Ensino Médio: Um exemplo com a teoria da relatividade restrita**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física - Florianópolis, jul. 2003.

LÖWY, I. "**Ludwig Fleck e a presente história das ciências**". História, Ciências, Saúde – Manguinhos, I (1): p. 7-18, jul-out, 1994.

MARTINS, Roberto de Andrade. **A Física no final do século XIX: modelos em crise**. Disponível em: Física Moderna - Mito e Ciência (comciencia.br). Acesso em 30/01/2024.

MARTINS, **Roberto de Andrade**. **Como distorcer a física: considerações sobre um exemplo de divulgação científica**. Física moderna. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. 1998.

MARTINS, Roberto de Andrade. **O surgimento da mecânica quântica – uma ou duas teorias?** Extrema: Quamcumque Editum, 2021.

MACHADO, A.C.B.; PLEITEZ, V.; TIJERO, M.C. **Usando a antimatéria na medicina moderna**. Revista Brasileira de Ensino Físico, São Paulo, v. 28, n. 4, 2006. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S180611172006000400001&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 04 nov. 2021.

MONTERO, **Everaldo Arroyo**. Einstein e a Mecânica Quântica: Um relacionamento complicado. Disponível em:

<https://ufabcedivulgaciencia.proec.ufabc.edu.br/2020/01/22/einstein-e-a-mecanica-quantica-um-relacionamento-complicado-e-ironicov-3-n-1-p-4-2020/>. Acesso em: 30 nov. 2021.

MOREIRA, Marco Antônio. **O Modelo Padrão da Física de Partículas**. Revista Brasileira de Ensino de Física; São Paulo, v. 31, nº. 1. 2009. Disponível em

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S180611172009000100006&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 05 nov. 2021.

MOREIRA, M. A., & MASSONI, N. T. (2011). **Visões epistemológicas contemporâneas: uma introdução**. Textos de Apoio ao Professor de Física, v.22 n.4, 61 p. ISSN 1807-2763.

MOURA, Breno Arsioli. **O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência?** Revista Brasileira de História da Ciência, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 32-46, jan - jun 2014.

NETO, José Borges. **Imre Lakatos e a Metodologia dos Programas de Investigação Científica**. Universidade Federal do Paraná- UFPR. Curitiba, 2008.

PEDUZZI, Luiz. **Física e Filosofia: Uma aproximação através de um texto na disciplina estrutura da matéria**. I Encontro Iberoamericano de investigação em educação em ciências. Departamento de física/PPG em Educação Científica e Tecnológica. Florianópolis SC, 2002.

RIBEIRO, Daniella Borges et al. **Financiamento à ciência no Brasil: distribuição entre as grandes áreas do conhecimento**. Revista Katál, Florianópolis, v. 23, n. 3, p. 548-561, set./dez. 2020. ISSN 1982-0259. Disponível em:

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/katalysis/article/view/1982-0259.2020v23n3p548>. Acesso em: 04 jan. 2024.

RUIZ, Rosario, f. (2018). **O falibilismo epistemológico de Karl Popper**. Sofia, 7(2), 289-304. ISSN 2317-2339.

SAMANIEGO, Luis Elias. **O Positivismo e as ciências físico-matemáticas no Brasil**. Caderno Catarinense de Ensino de Física. Florianópolis, 1994.

SANTOS, Leonardo Lopes. **Filosofia na Educação. O Relativismo e seus impactos na educação superior, consequentemente na formação profissional e humana das pessoas.** Simpósio pedagógico de pesquisas em educação. Jabotão dos Guararapes, 2018.

SCHWARTZMAN, S. **A ciência da ciência.** Ciência Hoje, Rio de Janeiro, v. 2, n. 11, p. 54-59, mar./abr., 1984.

SEABRA, Luís Pedro da Silva. **A concepção de Thomas Kuhn acerca das Revoluções Científicas.** Universidade Federal do Pará- UFPA. Belém, 2012.

SOUSA, L. A. **Paradigmas de Thomas Kuhn: uma análise crítica de "A Estrutura das Revoluções Científicas".** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Filosofia) - Universidade Federal de São João del Rei, São João del Rei, 2019.

WUENSCHÉ, Carlos Alexandre. **Relatividade Geral e Cosmologia.** INPE – Divisão de Astrofísica. Disponível em: Relatividade Geral e Cosmologia (inpe.br). Acesso em 30/01/2024.