



UEPB

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I**

**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
MESTRADO ACADÊMICO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E EDUCAÇÃO
MATEMÁTICA**

FRANCISCO DANIEL DE PONTES SILVA

**PARADOXO EPR E PSEUDO-HISTÓRIA: ANÁLISE DE LIVROS DE FÍSICA MO-
DERNA E CONTEMPORÂNEA**

**CAMPINA GRANDE
2021**

FRANCISCO DANIEL DE PONTES SILVA

PARADOXO EPR E PSEUDO-HISTÓRIA: ANÁLISE DE LIVROS DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ensino de Ciências e Educação Matemática.

Área de concentração: Ensino de Ciências e Educação Matemática

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Barros

**CAMPINA GRANDE
2021**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586p Silva, Francisco Daniel de Pontes.
Paradoxo EPR e Pseudo-História [manuscrito] : Análise de livros de física moderna e contemporânea / Francisco Daniel de Pontes Silva. - 2021.
171 p. : il. colorido.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Acadêmico em Ensino de Ciências e Educação Matemática) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia , 2021.

"Orientação : Prof. Dr. Marcos Antônio Barros , Departamento de Física - CCT."

1. Paradoxo EPR. 2. Arquitetura mítica. 3. Análise documental. 4. Formação docente. I. Título

21. ed. CDD 371.12

FRANCISCO DANIEL DE PONTES SILVA

PARADOXO EPR E PSEUDO-HISTÓRIA: ANÁLISE DE LIVROS DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ensino de Ciências e Educação Matemática.

Área de concentração: Ensino de Ciências e Educação Matemática

Aprovada em: 20/05/2021.

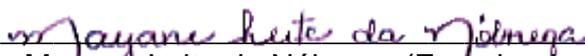
BANCA EXAMINADORA



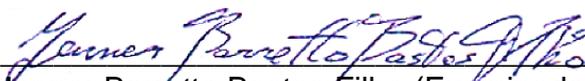
Prof. Dr. Marcos Antônio Barros (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. José Joelson Pimentel de Almeida (Examinador interno)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Mayane Leite da Nóbrega (Examinadora externa)
Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)



Prof. Dr. Jenner Barretto Bastos Filho (Examinador externo)
Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

À minha mãe, Edileuza Bezerra, por todos os anos de dedicação, carinho e atenção; a Henrique Lucena, pelo apoio, pela compreensão e pelo companheirismo, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática (PPGECM), por todos os ensinamentos oportunizados por seu corpo docente;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento dispensado à pesquisa;

Ao meu orientador, o Professor Marcos Antônio Barros Santos, pela visão e pela experiência que me conduziram à realização desta pesquisa; pela paciência e pela compreensão, apesar das dificuldades com que me deparei ao longo da pesquisa;

Aos Professores José Joelson Pimentel de Almeida, Mayane Leite da Nóbrega, como membros da banca no Exame de Qualificação por seus conselhos e orientações, que foram imprescindíveis para o aprimoramento e a conclusão desta pesquisa; agradeço, também, ao professor Jenner Barretto Bastos Filho por sua disponibilidade de compor a banca de defesa desta dissertação e pela sua contribuição para o aprimoramento da pesquisa;

Aos amigos que conquistei ao longo do curso, especialmente, Jorge Sousa, Mayara Gomes, Ruthe Gomes, Eliane Alves e Janaína Guedes. Sem perceber, criamos laços durante nossas trajetórias, os quais são as melhores partes de todos os processos pelos quais passamos;

Agradeço à amiga que fiz por acaso em Recife, Andressa Rodrigues que, apesar do pouco tempo, parece que temos uma amizade de anos. Agradeço por seus conselhos, pelo encorajamento e sua visão de boa pesquisadora que me ajudaram sobremaneira;

Especialmente, agradeço à minha amiga e ex-professora Midiã Monteiro, que, mesmo à distância espacial e temporal, mantém-se próxima, sempre me aconselhando, orientando e encorajando;

Ao meu amigo Jason Collins que, apesar de ainda não termos nos conhecido pessoalmente e estarmos a milhares de quilômetros, sempre acreditou em meu potencial, conheceu muito de mim, tanto como estudante como músico amador e chef de cozinha prática em formação;

À minha psicóloga, Alice Pacífico que, em vários momentos, foi a minha lanterna quando eu já não enxergava o caminho por onde podia seguir. Nossos encontros

me ajudaram a entender mais sobre mim, sobre o que é latente, imperceptível, mas que existe e que tenho com que lidar conhecendo-o;

A Henrique Lucena, que sempre esteve comigo ao longo do Mestrado, me apoiando em vários sentidos, sendo compreensivo e companheiro, apesar de lidar com os meus lados não tão fáceis;

Agradeço, especialmente, à minha mãe, Edileuza Bezerra, que sempre esteve comigo e me viu como orgulho e inspiração, que sempre me apoiou com todos os recursos disponíveis, pois, sem ela, nunca teria conseguido concluir uma graduação nem realizar o sonho de concluir um Mestrado.

Creio poder afirmar, na altura dessas considerações, que toda prática educativa demanda a existência de sujeitos, um que, ensinando, aprende, outro que, aprendendo, ensina, daí o seu cunho gnosiológico; a existência de objetos, conteúdos a serem ensinados e aprendidos envolve o uso de métodos, de técnicas, de materiais; implica, em função de seu caráter diretivo, objetivo, sonhos, utopias, ideais. Daí a sua politicidade, qualidade que tem a prática educativa de ser política, de não poder ser neutra (FREIRE, 1996, p. 41).

RESUMO

A Ciência é um processo em constante evolução, que influencia e é influenciada por seu tempo e faz parte da cultura humana, dentro de um conjunto amplo de culturas, por isso devemos enxergá-la em movimento. Ela é histórica, tem seus próprios objetivos, assume objetivos políticos, sociais, ideológicos e pode ser usada para fins benéficos ou não. Diferentemente de outros conhecimentos, o conhecimento científico se distingue pela maneira como se constrói, pois esse tipo é multifacetado, multimetodológico e considera o que historicamente foi construído e praticado socialmente. Para conhecê-la apropriadamente, é necessário mergulhar em sua história, o que é possível de se fazer através de textos próprios do campo da História, da Filosofia e da Sociologia da Ciência (HFSC), área do conhecimento que pode existir tanto como linha de pesquisa quanto como abordagem didática. Entretanto, sua abordagem não é tão simples, porquanto exige tempo, material adequado e alguma preparação na formação inicial e continuada de professores. Um dos grandes desafios é o acesso a um material adequado, principalmente livros-textos que abordem, de maneira suficientemente adequada, sem distorções, concepções equivocadas ou casos de pseudo-história. Nesse sentido, esta pesquisa objetivou analisar o tipo de descrição histórica do episódio histórico do Paradoxo EPR abordado em livros-textos de Física moderna e contemporânea (FMC), procurando responder qual tipo de descrição histórica esses livros-textos apresentam sobre o Paradoxo EPR. Para reconstruir o episódio sobre o Paradoxo EPR, utilizamos fontes primárias - os artigos de EPR e Bohr - e fontes secundárias - pesquisas especializadas sobre o momento. Para discutir sobre pseudo-história, recorreremos a artigos do biólogo e historiador Douglas Allchin (2002; 2004). Como foram analisados livros-textos, a metodologia de pesquisa adotada foi a pesquisa documental (CELLARD, 2012; PIMENTEL, 2001), realizada por meio da Análise de Conteúdo de Laurence Bardin (2001). A exploração e a análise do material nos mostraram que a maioria dos livros-textos tende a apresentar discursos pseudo-históricos, e quando não há grandes distorções históricas, há algumas com um grau maior de sutileza. Esse resultado nos alerta que é preciso adequar os materiais que são indicados como bibliografia básica e dar mais atenção à formação de professores,

capacitando-os a reconhecer essas pseudo-histórias e ter condições de fazer escolhas críticas e conscientes, porque, como professores, suas concepções científicas serão disseminadas em suas salas de aula e chegarão aos seus alunos.

Palavras-chave: Paradoxo EPR. Arquitetura mítica. Análise Documental. Formação docente.

ABSTRACT

Science is a process in constant evolution which influences, it is influenced by its time, and it is a part of human culture, within a wide extent of cultures, that is why we should see it in motion. It is historical, it has its proper objectives, it assumes political, social, and ideological objectives, and it can be or can't be used for good purposes. Unlike other knowledge, scientific knowledge is distinguished by the way it is constructed, as this type is multifaceted, multimethodological, and considers what has historically been constructed, and practiced socially. To understand it properly, it is necessary to get into its history deeply, which is possible through texts specific to the field of History, Philosophy, and Sociology of Science (HPSC), an area of knowledge that can exist both as a line of research as a didactic approach. However, its approach is not so simple, as it requires time, adequate material, and some preparation in initial and continuing teacher training. One of the great challenges is the access to adequate material, mainly textbooks that approach, in a sufficiently adequate way, without distortions, misconceptions, or cases of pseudo-history. Hence, this research aimed to analyze the type of historical description of the historical episode of the EPR Paradox approached in textbooks of modern and contemporary Physics (MCP), trying to answer what type of historical description these textbooks present about the EPR Paradox. To reconstruct the episode about the EPR Paradox, we used primary sources - the articles by EPR and Bohr - and secondary sources - specialized research about the period. To discuss pseudo-history, we used articles by biologist and historian Douglas Allchin (2002; 2004). As textbooks were analyzed, the research methodology adopted was documentary research (CELLARD, 2012; PIMENTEL, 2001), carried out through Content Analysis by Laurence Bardin (2001). The exploration and analysis of the material showed us that most textbooks tend to present pseudo-historical discourses, and when there are no major historical distortions, there are some with a greater degree of subtlety. This result alerts us that it is necessary to adapt materials that are indicated as basic bibliography, and to pay more attention to the training of teachers, enabling them to recognize these pseudo-histories and to be able to make critical and conscious

choices, because, as teachers, their scientific conceptions will be disseminated in their classrooms and will reach their students.

Keywords: EPR Paradox. Mythical architecture. Documentary Analysis. Teacher training.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Arranjo experimental para testar o teorema de Bell com imãs de Stern-Gerlach.....	55
Gráfico 1 –	Exclusão e consideração de livros para análise.....	79
Figura 2 –	Taxa de desemprego nos Estados Unidos entre os anos de 1985 e 2000.....	88
Gráfico 2 –	Tendência de descrição dos cientistas de AP-MB (monumentalidade).....	112
Gráfico 3 –	Tendência de descrição dos cientistas de AP-MB (idealização).....	113
Gráfico 4 –	Tendência de descrição dos cientistas de AP-MB (drama afetivo).....	113
Gráfico 5 –	Tendência de descrição dos cientistas de AP-MB (Narrativa Explicativa e de Justificação).....	114
Gráfico 6 –	Tendência de descrição dos cientistas de FP-ER (Monumentalidade).....	130
Gráfico 7 –	Tendência de descrição dos cientistas de FP-ER (Idealização).....	131
Gráfico 8 –	Tendência de descrição dos cientistas de FP-ER (Drama Afetivo).....	132
Gráfico 9 –	Tendência de descrição dos cientistas de FP-ER (Narrativa Explicativa e de Justificação).....	133
Gráfico 10 –	Tendência de descrição dos cientistas de FM-TL (Monumentalidade).....	146
Gráfico 11 –	Tendência de descrição dos cientistas de FM-TL (Idealização).....	147
Gráfico 12 –	Tendência de descrição dos cientistas de FM-TL (Drama Afetivo).....	147
Gráfico 13 –	Tendência de descrição dos cientistas de FM-TL (Narrativa Explicativa e de Justificação).....	148
Gráfico 14 –	Tendência de descrição dos cientistas de MQ-WWF (Monumentalidade).....	158
Gráfico 15 –	Tendência de descrição dos cientistas de MQ-WWF (Idealização).....	159

Gráfico 16 – Tendência de descrição dos cientistas de MQ-WWF (Drama Afetivo).....	160
Gráfico 17 – Tendência de descrição dos cientistas de MQ-WWF (Narrativa Explicativa e de Justificação).....	160
Gráfico 18 – Distribuição dos documentos quanto à veiculação de pseudo-história.....	162

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparação entre a história mítica e a história que retrata a natureza da Ciência de maneira mais informativa usando a mnemônica SOURCE.....	31
Quadro 2 – Equações que descrevem um sistema de duas partículas.....	40
Quadro 3 – Caracterização das dimensões de análise para a análise preliminar dos documentos.....	69
Quadro 4 – Caracterização das etapas da Análise de Conteúdo.....	71
Quadro 5 – Caracterização das categorias e subcategorias de análise e das unidades de registro e de contexto.....	72
Quadro 6 – Disciplinas, ementas e códigos.....	77
Quadro 7 – Livros de FMC, autores e anos em ordem cronológica das BB e BC.....	78
Quadro 8 – Delimitação dos documentos em relação aos critérios de exclusão.....	79
Quadro 9 – Livros de FMC, autores e anos em ordem cronológica dos documentos considerados para a análise.....	80
Quadro 10 – Primeira subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro AP-MB.....	97
Quadro 11 – Segunda subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro AP-MB.....	98
Quadro 12 – Terceira subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro AP-MB.....	99
Quadro 13 – Quarta subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro AP-MB.....	100
Quadro 14 – Primeira subcategoria da categoria ‘Idealização’ para o livro AP-MB.....	102
Quadro 15 – Segunda subcategoria da categoria ‘Idealização’ para o livro AP-MB.....	104

Quadro 16 – Primeira subcategoria da categoria ‘Drama Afetivo’ para o livro AP-MB.....	105
Quadro 17 – Segunda subcategoria da categoria ‘Drama Afetivo’ para o livro AP-MB.....	107
Quadro 18 – Primeira subcategoria da categoria ‘Narrativa Explicativa e de Justificação’ para o livro AP-MB.....	108
Quadro 19 – Segunda subcategoria da categoria ‘Narrativa Explicativa e de Justificação’ para o livro AP-MB.....	110
Quadro 20 – Primeira subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro FP-ER.....	115
Quadro 21 – Segunda subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro FP-ER.....	116
Quadro 22 – Quarta subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro FP-ER.....	118
Quadro 23 – Primeira subcategoria da categoria ‘Idealização’ para o livro FP-ER.....	119
Quadro 24 – Segunda subcategoria da categoria ‘Idealização’ para o livro FP-ER.....	121
Quadro 25 – Terceira subcategoria da categoria ‘Idealização’ para o livro FP-ER.....	121
Quadro 26 – Primeira subcategoria da categoria ‘Drama Afetivo’ para o livro FP-ER.....	122
Quadro 27 – Segunda subcategoria da categoria ‘Drama Afetivo’ para o livro FP-ER.....	123
Quadro 28 – Terceira subcategoria da categoria ‘Drama Afetivo’ para o livro FP-ER.....	125
Quadro 29 – Primeira subcategoria da categoria ‘Narrativa Explicativa e de Justificação’ para o livro FP-ER.....	126
Quadro 30 – Segunda subcategoria da categoria ‘Narrativa Explicativa e de Justificação’ para o livro FP-ER.....	128
Quadro 31 – Primeira subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro FM-TL.....	134

Quadro 32 – Segunda subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro FM-TL.....	135
Quadro 33 – Terceira subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro FM-TL.....	136
Quadro 34 – Primeira subcategoria da categoria ‘Idealização’ para o livro FM-TL.....	137
Quadro 35 – Segunda subcategoria da categoria ‘Idealização’ para o livro FM-TL.....	138
Quadro 36 – Terceira subcategoria da categoria ‘Idealização’ para o livro FM-TL.....	139
Quadro 37 – Primeira subcategoria da categoria ‘Drama Afetivo’ para o livro FM-TL.....	140
Quadro 38 – Segunda subcategoria da categoria ‘Drama Afetivo’ para o livro FM-TL.....	141
Quadro 39 – Terceira subcategoria da categoria ‘Drama Afetivo’ para o livro FM-TL.....	142
Quadro 40 – Primeira subcategoria da categoria ‘Narrativa Explicativa e de Justificação’ para o livro FM-TL.....	143
Quadro 41 – Segunda subcategoria da categoria ‘Narrativa Explicativa e de Justificação’ para o livro FM-TL.....	144
Quadro 42 – Primeira subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro MQ-WWF.....	149
Quadro 43 – Segunda subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro MQ-WWF.....	149
Quadro 44 – Terceira subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro MQ-WWF.....	150
Quadro 45 – Primeira subcategoria da categoria ‘Idealização’ para o livro MQ-WWF.....	151
Quadro 46 – Segunda subcategoria da categoria ‘Idealização’ para o livro MQ-WWF.....	152
Quadro 47 – Terceira subcategoria da categoria ‘Idealização’ para o livro MQ-WWF.....	152

Quadro 48 – Primeira subcategoria da categoria ‘Drama Afetivo’ para o livro MQ-WWF.....	153
Quadro 49 – Segunda subcategoria da categoria ‘Drama Afetivo’ para o livro MQ-WWF.....	155
Quadro 50 – Terceira subcategoria da categoria ‘Drama Afetivo’ para o livro MQ-WWF.....	155
Quadro 51 – Primeira subcategoria da categoria ‘Narrativa Explicativa e de Justificação’ para o livro MQ-WWF.....	156
Quadro 52 – Segunda subcategoria da categoria ‘Narrativa Explicativa e de Justificação’ para o livro MQ-WWF.....	156

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANS	Agência Nacional de Saúde Suplementar
AP-MB	Atomic Physics – Max Born
BB	Bibliografia Básica
BC	Bibliografia Complementar
C1-NB	Critério de exclusão segundo a natureza da bibliografia
C2-HC	Critério de exclusão segundo a abordagem da Historiografia da Ciência
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CCT	Centro de Ciências e Tecnologia
CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
EPR	Einstein, Podolsky e Rosen
FdMC	Física da Matéria Condensada
FMC	Física Moderna e Contemporânea
FM-TL	Física Moderna – Paul Tipler e Ralph Llewellyn
FN	Física Nuclear
FP-ER	Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas – Robert Eisberg e Robert Resnick
FQ	Física Quântica
HFC	História e Filosofia da Ciência
HFSC	História, Filosofia e Sociologia da Ciência
IC	Iniciação Científica
MQ	Mecânica Quântica
MQ-WWF	Mecânica Quântica – Waldemar Wolney Filho
NdC	Natureza da Ciência
PIB	Produto Interno Bruto
PIBIC	Programa Institucional de Bolsas de Ensino e/ou Pesquisa
PL	Partido Liberal
PPC	Projeto Político-pedagógico
PPGECM	Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática

PPS	Partido Popular Socialista
PSB	Partido Socialista Brasileiro
PSD	Partido Social-Democrata
PSDB	Partido da Social Democracia Brasileira
PT	Partido dos Trabalhadores
SA	Divisões de Assalto
SOURCE ¹	Science-made, Overinflated genius, Unqualified Universality, Retrospect e Romanticism, Caricatures and Expected results & Excuses
SOURCE ²	Science-in-the-making, Opportunities, Uncertainties, Respect for historical context, Contingency, Complexity and Controversy & Error explained
TGR	Teoria Geral da Relatividade
TVOs	Teoria de Variáveis Ocultas
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba
UFG	Universidade Federal de Goiás
UnB	Universidade de Brasília

LISTA DE SÍMBOLOS

US\$	Dólar americano
Ψ	Letra grega psi usada para designar a função de onda
λ	Letra grega lambda, usada para indicar o comprimento de onda
θ	Letra grega teta, usada para indicação de ângulo
ϕ, φ	Letras gregas fi, usadas para indicação de ângulo
α	Letra grega alfa, usada para indicação de ângulo
β	Letra grega beta, usada para indicação de ângulo
π	Letra grega pi, razão entre o perímetro e o diâmetro de uma circunferência de valor aproximado de 3,14
δ	Letra grega delta minúscula
ω	Letra grega ômega minúscula
ν	Letra grega ni minúscula, usada para indicar frequência
Σ	Letra grega sigma maiúscula, usada para indicar soma discreta
Δ	Letra grega delta maiúscula
∞	Infinito
E	Energia da radiação
j	Unidade de medida S.I. joule para energia
s	Unidade de medida S.I. segundo para tempo
f	Frequência
W	Função trabalho, unidade de medida joule
V	Volume, unidade de medida metro cúbico
v	Velocidade
c	Velocidade da luz, aproximadamente $3 \cdot 10^8$ m/s
m	Unidade de medida S.I. metro para comprimento e distância
cm	Varição do metro, centímetro
nm	Varição do metro, nanômetro
He	Gás hélio
H ₂	Dupla molécula de hidrogênio
P, p, p	Momento linear
r	Vetor posição

k	Vetor de onda
h	Constante de Planck, aproximadamente $6,57 \cdot 10^{-34}$ j.s
ħ	$h/2\pi$
Å	Unidade de medida angstrom, variação do metro na ordem de 10^{-10} m
$\overline{\mathcal{E}^2}$	Número médio de fótons por unidade de volume
i	Parte imaginário de um número complexo, $\sqrt{-1}$

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	24
2	HISTORIOGRAFIA DA CIÊNCIA E PSEUDO-HISTÓRIA.....	28
2.1	Monumentalidade.....	31
2.2	Idealização.....	32
2.3	Drama Afetivo.....	34
2.4	Narrativa Explicativa e de Justificação.....	34
3	O PROBLEMA DA MEDIÇÃO E A COMPLETUDE DA MECÂNICA QUÂNTICA.....	36
3.1	O experimento mental de Einstein, Podolsky e Rosen (EPR) e a completude da mecânica quântica.....	36
3.2	Resposta de Bohr às considerações de EPR sobre a completude da MQ.....	41
3.3	O Paradoxo do Gato de Schrödinger e o problema da medição na Mecânica Quântica.....	47
3.4	A desigualdade de Bell e a completude da mecânica quântica.....	54
4	INTERPRETAÇÃO DO DEBATE SOBRE A COMPLETUDE DA MECÂNICA QUÂNTICA.....	58
5	METODOLOGIA.....	64
5.1	Análise Documental e pesquisa em Ensino de Ciências.....	68
5.2	Análise Documental através da Análise de Conteúdo.....	70
5.3	Procedimentos metodológicos da pesquisa.....	73
5.3.1	<i>Levantamento bibliográfico, revisão de literatura e produção historiográfica.....</i>	73
5.3.1.1	<i>Levantamento bibliográfico.....</i>	73
5.3.1.2	<i>Revisão de literatura.....</i>	74
5.3.1.3	<i>Produção historiográfica.....</i>	74
5.3.2	<i>Detalhamento dos critérios para a escolha dos documentos.....</i>	75
5.3.3	<i>Análise dos documentos.....</i>	75
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	77

6.1	Caracterização dos documentos: o contexto, o autor ou autores, a autenticidade, a confiabilidade e a natureza do texto, os conceitos-chave e a lógica interna do texto.....	80
6.1.1	<i>Atomic Physics (Max Born, 1937): AP-MB.....</i>	81
6.1.2	<i>Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas (Robert Eisberg e Robert Resnick, 1994): FP-ER.....</i>	87
6.1.3	<i>Física Moderna (Paul Tipler e Ralph Llewellyn, 2001): FM-TL.....</i>	90
6.1.4	<i>Mecânica Quântica (Waldemar Wolney Filho, 2002): MQ-WWF.....</i>	93
6.2	Análise dos conteúdos dos documentos.....	96
6.2.1	<i>Livro AP-MB.....</i>	96
6.2.1.1	<i>Categoria: Monumentalidade.....</i>	96
6.2.1.2	<i>Categoria: Idealização.....</i>	102
6.2.1.3	<i>Categoria: Drama Afetivo.....</i>	105
6.2.1.4	<i>Categoria: Narrativa Explicativa e de Justificação.....</i>	108
6.2.1.5	<i>Discussão e interpretação dos dados de AP-MB.....</i>	111
6.2.2	<i>Livro FP-ER.....</i>	115
6.2.2.1	<i>Categoria: Monumentalidade.....</i>	115
6.2.2.2	<i>Categoria: Idealização.....</i>	119
6.2.2.3	<i>Categoria: Drama Afetivo.....</i>	122
6.2.2.4	<i>Categoria: Narrativa Explicativa e de Justificação.....</i>	126
6.2.2.5	<i>Discussão e interpretação dos dados de FP-ER.....</i>	129
6.2.3	<i>Livro FM-TL.....</i>	133
6.2.3.1	<i>Categoria: Monumentalidade.....</i>	133
6.2.3.2	<i>Categoria: Idealização.....</i>	137
6.2.3.3	<i>Categoria: Drama Afetivo.....</i>	140
6.2.3.4	<i>Categoria: Narrativa Explicativa e de Justificação.....</i>	142
6.2.3.5	<i>Discussão e interpretação dos dados de FM-TL.....</i>	145
6.2.4	<i>Livro MQ-WWF.....</i>	148
6.2.4.1	<i>Categoria: Monumentalidade.....</i>	149
6.2.4.2	<i>Categoria: Idealização.....</i>	151
6.2.4.3	<i>Categoria: Drama Afetivo.....</i>	153
6.2.4.4	<i>Categoria: Narrativa Explicativa e de Justificação.....</i>	156
6.2.4.5	<i>Discussão e interpretação dos dados de MQ-WWF.....</i>	157

6.2.5	<i>Considerações sobre a análise dos dados e comparação entre os documentos analisados</i>	161
7	CONCLUSÃO	164
	REFERÊNCIAS	167

1 INTRODUÇÃO

Ao considerar os fenômenos naturais à luz do pensamento científico, comumente, procuramos estabelecer uma descrição analítica que apresente uma correspondência entre os elementos de realidade imediata e os da realidade física, os quais elaboramos para dar coerência à descrição teórica, como, por exemplo, as questões encontradas na Mecânica Quântica (MQ).

Entendemos como elementos de realidade imediata os que percebemos em nossos sentidos e advêm da natureza. Tudo o que enxergamos e sentimos por meio do tato ou qualquer outro sentido que nos chegue através das sensações do corpo constituem esses elementos. Já os elementos da realidade física são os caracterizados a partir de teorizações dos elementos naturais observados.

Albert Einstein, Boris Podolsky e Nathan Rosen, que são representados aqui por EPR, negam a possibilidade de se “descrever completamente” a realidade física da Mecânica Quântica, baseando tal argumento num experimento mental e numa “completude” matemática de suposições de que ou a teoria estava correta ou a descrição feita pela teoria era completa, levando em consideração os preceitos da MQ.

Por outro lado, Niels Bohr sustenta a completude da descrição da realidade física dada pela MQ, criticando a simplicidade do experimento mental apresentado por EPR e evidenciando dificuldades experimentais inerentes à liberdade de manipular aparatos experimentais, caso se queira medir a posição ou o momento linear de uma partícula, fazendo referência às relações de incerteza de Heisenberg para a posição e o momento ou energia e tempo.

No escopo da MQ, a ideia de experimento pode representar vários desafios para a descrição física dos fenômenos físicos, visto que a observação pode mudar o resultado do que se experimenta, pois, ao se observar o fenômeno, o padrão inicial existente pode ser perturbado e alterado, como é o caso do padrão de onda de uma partícula qualquer que passa a apresentar um padrão corpuscular em um mesmo experimento.

Nesse sentido, trouxemos, como episódio histórico nesta pesquisa, uma discussão que apresenta as duas posições referentes à completude da MQ. Primeiramente, expusemos os questionamentos e as suposições de EPR; em seguida, vincu-

lamos as respostas de Bohr às respectivas observações de EPR. Esses questionamentos e respostas foram extraídos dos artigos de EPR e Bohr, publicados em maio de 1935 e outubro de 1935, respectivamente, na *Physical Review*.

Além disso, analisamos as falhas encontradas no discurso de EPR, ao defenderem o experimento mental para afirmar a “incompletude” da MQ. A fragilidade da perspectiva teórica de Bohr também foi discutida, porque sua principal abordagem esteve centrada na questão da realidade física, e não, nos elementos de realidade que possibilitaram descrever a realidade completamente. Sua defesa foi completamente discursiva, sem usar a função de onda já conhecida na época, o que não convenceu seus contemporâneos.

Nossa análise foi baseada em trabalhos que abordaram questões do Paradoxo EPR e da defesa de Bohr (BRASSARD & MÉTHOT, 2006; PESSOA JR., 2006). Além disso, fizemos uma abordagem da demonstração da completude da MQ, a partir da desigualdade de Bell, representando o princípio do método de verificação da completude de natureza quântica (BRICMONT, 2015; ALFORD, 2015).

Logo, definimos como o objeto de estudo desta pesquisa o Paradoxo EPR e a pseudo-história presente nos livros-textos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) do Ensino Superior, a fim de saber, com base no episódio histórico sobre o Paradoxo EPR e a completude da Mecânica Quântica, qual o tipo de descrição histórica os livros-textos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) apresentam sobre o Paradoxo EPR.

Na tentativa de responder a esse questionamento, primeiramente, buscamos, em Allchin (2019), critérios teóricos necessários que norteassem nossa compreensão a respeito do que é uma pseudo-história, sua estrutura e suas características, para que pudéssemos analisar, em particular, esse episódio científico nos livros-textos. Diversos estudos (MARTINS, 2003; BARROS e SOARES, 2017) nos apontam algumas distorções e simplificações que terminam por transmitir uma visão equivocada de todo o processo histórico de desenvolvimento de uma teoria.

Aqui buscamos ir mais além, ou seja, identificar falsas concepções sobre a natureza da Ciência que acabam por gerar histórias inverídicas que são repassadas em sala de aula, quando publicadas em materiais didáticos, sem antes se analisar a coerência de determinados conteúdos. Para isso, traçamos como objetivo geral: Analisar o tipo de descrição histórica do episódio histórico do Paradoxo EPR abordado em

livros-textos de Física Moderna e Contemporânea (FMC), que foi desmembrado nos objetivos específicos seguintes:

(i) Descrever o episódio histórico sobre o Paradoxo EPR, a partir dos artigos originais de Einstein, Podolsky e Rosen e Bohr;

(ii) Refletir sobre o episódio histórico do Paradoxo EPR, a partir de fontes secundárias, observando os pontos fortes e os fracos de EPR e Bohr debatidos em seus artigos sobre a completude da Mecânica Quântica;

(iii) Comparar a reconstrução do episódio histórico, realizada nesta pesquisa, com os relatos apresentados pelos livros-textos de FMC;

(iv) Analisar os dados dos livros-textos de Física Moderna e Contemporânea (FMC), a partir das Análises Documental e de Conteúdo dos descritores de pseudo-história de Douglas de Allchin.

Minha inserção, como pesquisador, na linha de pesquisa em História, Filosofia e Sociologia das Ciências e da Matemática justifica-se por meu percurso acadêmico trilhado na graduação, em que participei, durante quatro anos, de projetos de Iniciação Científica (IC) no Programa Institucional de Bolsas de Ensino e/ou Pesquisa (PIBIC) como aluno bolsista.

Na IC, os episódios que trabalhamos, relacionados ao período em que a Física Clássica era predominantemente praticada entre os Séculos XVI e XVII, eram do teórico Galileu Galilei e tratavam da Teoria das Marés e a Queda dos Corpos. Seus trabalhos foram escritos em forma de diálogos, com personagens fictícios, que debatiam sobre como esses fenômenos estavam relacionados à organização cosmológica. Nesses diálogos, havia uma polarização entre o cosmos aristotélico e o copernicano, principalmente.

Assim como a história da Física Clássica, a história da MQ apresenta ricas discussões epistemológicas, filosóficas, dentre outras, que aguçam a curiosidade de vários pesquisadores e eleva sua importância como campo de pesquisa. Por essas razões é que nossa pesquisa investigou um dos episódios acerca da MQ.

Além desta introdução, esta pesquisa está organizada do seguinte modo: no segundo capítulo, tratamos das questões relacionadas à Historiografia da Ciência e da Pseudo-história e discutimos sobre como as arquiteturas míticas podem ser prejudiciais à compreensão ideal do que seria a Ciência, suas naturezas e como a História pode contribuir de diversas maneiras para essa compreensão.

No terceiro capítulo, apresentamos a reconstrução do episódio histórico que trata dos embates travados, de um lado, por EPR, que defendem a incompletude da MQ e, de outro, por Bohr, defensor da interpretação de Copenhague e, em seguida, a análise das ideias apresentadas por EPR e Bohr, a partir de fontes primárias, como Pessoa Jr. (2006), Brown (1981) e Brassard e Méthod (2006) no quarto capítulo.

No quinto capítulo, apresentamos a metodologia utilizada, que foi dividida em duas partes: uma destinada a caracterizar a Análise Documental, de natureza qualitativa, e cuja principal fonte de dados são os documentos, e, aliada à Pesquisa Documental, a Análise de Conteúdo de Bardin (2011), que também descrevemos no capítulo dois, o que nos possibilitou fazer uma análise mais criteriosa. Também descrevemos os procedimentos metodológicos realizados desde o levantamento bibliográfico até a coleta dos dados.

No sexto capítulo, trazemos os resultados e as discussões, tendo como principais fontes de dados livros-textos de FMC do Curso de Licenciatura em Física da Universidade Estadual da Paraíba, do Campus I (CCT/UEPB), situado na cidade de Campina Grande-PB, e, em seguida, o sétimo capítulo, em que apresentamos algumas considerações conclusivas a respeito do assunto abordado.

Os resultados indicaram que há uma tendência a discursos pseudo-históricos, quando autores que não têm uma especialização específica ou experiência consistente com a abordagem procuram descrever historicamente os conteúdos apresentados em seus documentos com um grau maior ou menor de distorção. Esse resultado pode ser explicado, em grande parte, a partir dos objetivos e das especializações dos autores, a maioria dos quais é composta de cientistas que trabalham com a pesquisa em Física Teórica e Experimental e que pretendem escrever livros que atendam ao currículo do Ensino Superior.

2 HISTORIOGRAFIA DA CIÊNCIA E PSEUDO-HISTÓRIA

Ensinar Física deve ir além de apresentar abordagens desconexas de conteúdos e conceitos próprios da disciplina, fazendo-a parecer um aglomerado de conhecimentos que não se relacionam com outras instâncias da vida cotidiana. Uma das possíveis maneiras de se contextualizar a Física é através da abordagem de sua história, relatando os percursos teóricos traçados pelos estudiosos envolvidos na investigação.

Embora os professores de Física estejam bem-intencionados ao proporcionar tal abordagem, seu despreparo e a falta de conhecimentos em historiografia da Ciência podem produzir concepções equivocadas sobre os “fatos” vinculados aos conteúdos apresentados em suas aulas. Nesse sentido, ao invés de apresentar a história elaborada a partir de estudos historiográficos, criam relatos pseudo-históricos e distorcem o que se aceita a partir das pesquisas especializadas.

As pseudo-histórias se baseiam em conhecimentos científicos verdadeiros, aceitos como paradigmas teóricos pela comunidade científica. Todavia, a forma como essas “histórias” são contadas pode criar mitos em torno dos acontecimentos, obscurecendo a compreensão dos fatos históricos consensualmente aceitos.

Assim como as falas ou as aulas dos professores podem carregar esses relatos, os livros-textos de FMC podem veicular ideias pseudo-históricas. O teor científico e de autoridade pode inibir a crítica e a reflexão de professores e estudantes que os utilizam como principais fontes de consulta, afetando a maneira como a Ciência e sua natureza são apreendidas por esses sujeitos.

Podemos dizer que uma das maneiras de contornar relatos pseudo-históricos seria por meio de uma abordagem histórica adequada dos conhecimentos científicos, usando relatos encontrados na Historiografia da Ciência, campo próprio do estudo epistemológico e histórico da Ciência. Outra vantagem que podemos citar diz respeito ao conhecimento do funcionamento da própria Ciência, ou seja, de sua natureza ou naturezas, em referência à metodologia científica específica do campo que se analisa.

Nesta pesquisa, adotamos a concepção de que a história da Ciência pode fornecer elementos de neutralização de concepções mitológicas ou pseudo-históricas, e sua abordagem oportuniza um olhar atento às naturezas da Ciência, que nos dizem como podem ser seu funcionamento, seus métodos e as posições assumidas pelos estudiosos que se debruçam sobre os conhecimentos relatados.

Os relatos pseudo-históricos apresentam uma estrutura comum e podem ser reconhecidos quando se dedica alguma atenção a eles (ALLCHIN, 2002, 2004). Nesse sentido, a tendência é de que as descrições históricas sejam caracterizadas como uma romantização dos estudiosos, por inflar (ou seja, pela supervalorização de acontecimentos pontuais) o drama de suas “descobertas” a proporção monumental dos autores e suas investigações.

Isso não significa que existe uma abordagem escassa da história desses acontecimentos, no entanto o que é motivo de preocupação é como essa história é transmitida. A maneira como ela é apresentada pode contribuir para a construção de concepções científicas mais do que é consensual na Ciência ou, caso contrário, reforçar estereótipos comuns de estruturas mitológicas.

Afirmo que o problema não é o déficit de história. Contrariamente, a preocupação deve ser qual *tipo* de história é usada. Me refiro, em particular, a histórias populares da Ciência que romantizam os cientistas, inflam o drama de suas descobertas e projetam os cientistas e o processo da Ciência em proporção monumental. Elas distorcem a história e alimentam estereótipos injustificados sobre a natureza da Ciência – tudo por uma questão de “contar uma boa história” [...]. Embora baseadas em eventos autênticos, essas histórias são profundamente enganadoras (ALLCHIN, 2002, p. 329, grifos do autor, tradução nossa)¹.

O simplismo demasiado nesses “contos” nos impede de enxergar uma variedade de elementos que estão envolvidos no processo de construção do conhecimento científico. Em linhas gerais, essas descrições desprezam fatores pretensamente negativos, conflitos “desnecessários” e competições entre teorias concorrentes. Os sucessos e os sujeitos bem-sucedidos são os pontos de interesse desses relatos e favorecem imagens falaciosas referentes ao funcionamento da Ciência.

Douglas Allchin (2002; 2004) apresenta quatro elementos que compõem a estrutura dos mitos, propagados por meio de contos pseudo-históricos, considerada comum a todas as pseudo-histórias. Podemos utilizar esses elementos para identificar

¹ The problem, I contend, is not deficit of history. Rather, the concern should be what *type* of history is used. I refer, in particular, to popular histories of science that romanticize scientists, inflate the drama of their discoveries, and cast scientists and the process of science in monumental proportion. They distort history and foster unwarranted stereotypes about the nature of science – all for the sake of “telling a good story” [...]. While based on authentic events, these histories are deeply misleading (ALLCHIN, 2002, p. 329).

esse tipo de relato em que se usam fatos históricos e conhecimentos científicos. Em seus trabalhos, ele lista quatro características compartilhadas nessas descrições²:

Muitas pseudo-histórias compartilham uma arquitetura retórica com mitos antigos. Brevemente, os elementos comuns incluem: (1) monumentalidade, (2) idealização, (3) drama afetivo e (4) narrativa explicativa e de justificação. [...] E são essas características *retóricas* que ajudam a transformar a história em pseudo-história (ALLCHIN, 2004, p. 189, grifos do autor, tradução nossa)³.

Comparativamente, as pseudo-histórias se equiparam às pseudociências, pois, da mesma maneira, transmitem ideias e concepções equivocadas sobre os acontecimentos históricos da produção de conhecimento e do funcionamento da Ciência. Logo, combater as pseudo-histórias também deve ser uma das preocupações da Educação Científica, do mesmo modo que se procura combater as ideias equivocadas das pseudociências.

Podemos usar algumas estratégias para evitar as pseudo-histórias, principalmente em aulas de Ciências da Educação Básica. Primeiramente, poderíamos incentivar a reflexividade, procurando utilizar ferramentas analíticas e exemplos para reconhecer a retórica dos mitos; em segundo lugar, os professores poderiam conhecer alguns relatos mitológicos discrepantes com os fatos históricos e científicos (ALLCHIN, 2002).

[...] devemos equipar os professores (e estudantes) com as ferramentas para reconhecerem e lidarem com os mitos enganosos que, inevitavelmente, encontrarão. [...] Além disso, os professores novos em história podem contar com poucas breves máximas para ajudá-los a avaliar qualquer história. [...] Suspeite da simplicidade. Cuidado com vinhetas. Abrace a complexidade e a controvérsia. Descarte imagens romantizadas. Não infle o gênio. Misture a celebração com a crítica. Examine minuciosamente o feito pela Ciência. Reviva a Ciência em desenvolvimento. Explique o erro sem culpa (ALLCHIN, 2002, p. 347, tradução nossa)⁴.

² Douglas Allchin apresenta duas nomenclaturas para uma mesma característica: “Explanatory and Justificatory Narrative” (2002) e “Explanatory Function” (2004), mas vamos empregar termo ‘Narrativa explicativa e de justificação, proveniente de Allchin (2002).

³ Many pseudohistories share a rhetorical architecture with ancient myths. Common elements include, briefly: (1) monumentality, (2) idealization, (3) affective drama, and (4) explanatory function. [...] And it is these *rhetorical* features that help transform history into pseudohistory (ALLCHIN, 2004, p. 189).

⁴ [...] we should equip teachers (and students) with the tools to recognize and deal with the misleading myths they will inevitably encounter. [...] In addition, teachers new to history may rely on a few brief maxims to help evaluate any history. [...] Suspect simplicity. Beware vignettes. Embrace complexity and controversy. Discard romanticized images. Do not inflate genius. Mix celebration with critique. Scrutinize retrospective science-made. Revive science-in-the-making. Explain error without excusing it (ALLCHIN, 2002, p. 347).

As estratégias apresentadas na última citação encontram-se sintetizadas no Quadro 1 e também se referem às diferenças entre Narrativas Míticas e História da Natureza da Ciência. No lado esquerdo do quadro, orientado verticalmente, encontra-se o acrônimo SOURCE (originalmente escrito por Allchin, 2002, em inglês), referente a *Science-made, Overinflated genius, Unqualified Universality, Retrospect e Romanticism, Caricatures e Expected results & Excuses*, de um lado, e *Science-in-the-making, Opportunities, Uncertainties, Respect for historical context, Contingency, Complexity e Controversy e Error explained*, de outro.

Quadro 1 – Comparação entre a história mítica e a história que retrata a natureza da Ciência de maneira mais informativa usando a mnemônica SOURCE ⁵

	Narrativas Míticas	História da Natureza da Ciência
S	Feito pela Ciência	Ciência em desenvolvimento
O	Capacidade aumentada	Oportunidades
U	Universalidade não qualificada	Incertezas
R	Retrospecto, Romanticismo	Respeito ao contexto histórico
C	Caricaturas	Contingência, complexidade, controvérsia
E	Resultados e pretextos esperados	Erro explicado

Fonte: Allchin (2002, p. 347).

Ao nutrir concepções mitológicas a partir das pseudo-histórias, podemos contribuir com dois extremos: o reforço da ideia do método universal e infalível ou a completa banalização da Ciência. Polarizar o debate em torno da Ciência e de suas naturezas pode nos levar a incorrer em erros e fugir de abordagens adequadas que poderiam ocorrer nas aulas de Ciências.

Nas quatro seções seguintes, caracterizamos cada um dos elementos constituintes da arquitetura dos mitos, em consonância com o exposto por Allchin (2002). Isso nos possibilita a, facilmente, reconhecê-los em escritas em que se usa a história da Ciência e sermos capazes de observá-los com mais criticidade. Dessa maneira, poderemos identificar tais elementos e procurar contorná-los, evitando sua propagação na Educação Científica e o fortalecimento de ideias equivocadas.

2.1 Monumentalidade

⁵ Tradução da descrição da Figura 2 do artigo de Allchin: Comparison of sample features characterizing mythic history and history that portrays nature of science more informatively, using the mnemonic "SOURCE".

Nesse elemento da arquitetura dos mitos, o cientista é apresentado como um herói, aquele que, com o “dom natural de inteligência”, consegue desvendar todos os saberes escondidos sobre o que se investiga. Além disso, desprezam-se os esforços coletivos na construção dos conhecimentos e atribui-se a uma só pessoa todo o crédito por eventuais estabelecimentos de teorias.

Os cientistas são considerados indivíduos sem falhas, porque não existe possibilidade de erro na Ciência. A neutralidade é um traço marcante dos sujeitos envolvidos nos estudos científicos, pois eles não apresentam desejos individuais que interfiram nos resultados que se encontram usando uma metodologia científica adequada. A principal função dessas figuras monumentais é de atrair e envolver o público, porque aspectos positivos motivam mais os estudantes a se envolverem com a Ciência e a se tornarem cientistas profissionais.

Primeiramente, todos os cientistas, como personagens literários, são maiores do que a vida. Eles são heroicos [...]. Suas personalidades exalam virtude. Eles não apresentam falhas de caráter. Por exemplo, como cientistas, eles não erram. Também, [...] suas conquistas são infladas. Descobertas que, historicamente, foram graduais e distribuídas para várias pessoas são concentradas em uma pessoa e, frequentemente, num insight momentâneo [...]. Elas introduzem erros históricos e transformam cientistas humanos em personagens sobre-humanos. Assim, os cientistas compartilham com as suas contrapartes, completamente literárias, traços de heróis, lendas e, às vezes, até mesmo deuses. Suas características monumentais servem a uma função principal: envolver o leitor (ALLCHIN, 2002, p. 342, tradução nossa)⁶.

Descrever os cientistas e seus feitos de modo monumental eleva o nível de sua importância para o contexto de trabalho e torna imprescindíveis suas conquistas. Embora a Historiografia da Ciência não fortaleça esse tipo de história, esses relatos podem apresentar potenciais de discussões que criem ambientes críticos e reflexivos acerca do papel do cientista e da Ciência e quais poderiam ser as maneiras mais apropriadas de expressá-los.

2.2 Idealização

⁶ First, all the scientists, as literary characters, are larger than life. They are heroic [...]. Their personality exudes virtue. They exhibit no character flaws. For example, as scientists, they do not err. Also, [...] their achievements are inflated. Discoveries that, historically, were gradual and distributed over several persons are concentrated in one person, and often in one momentous insight [...]. They introduce historical error and transform human scientists into superhuman characters. The scientists thus share with their wholly fictional literary counterparts the traits of heroes, legends, and sometimes even gods. Their monumental features serve a major function: to engage the reader (ALLCHIN, 2002, 342).

A idealização, segunda característica da Arquitetura dos Mitos, diz respeito à demasiada simplificação dos fatos. Preza-se pela delimitação dos acontecimentos e pelo nivelamento do que se considera essencial. Todavia, selecionar o que é “essencial” em detrimento do que é “dispensável” pode contribuir para induzir ao erro, acarretado pela simplificação exagerada. Nesse sentido, aspectos bem-sucedidos recebem *status* privilegiado, e os que representam resistência ao sucesso científico são vistos como empecilhos para uma boa história.

Uma segunda característica arquitetural dos mitos na Ciência é a idealização. As histórias de caso exemplificam os fenômenos sobre a narrativa familiar aos psicólogos: *delimitação padronizada* e *nivelamento*. [...] As qualificações estão perdidas. Surgem extremos. O que permanece é uma imagem em preto e branco da Ciência (ALLCHIN, 2002, 344, grifos do autor, tradução nossa)⁷.

O processo de construção de conhecimento é apresentado como o acúmulo linear de contribuições pontuais, que contrasta com a ideia de uma ampla rede de contributos por parte de diversos atores. Os detalhes desse processo são considerados secundários e, conseqüentemente, são abandonados, e os pontos positivos são realçados (ALLCHIN, 2002).

Desse modo, os relatos da Ciência se tornam idealizados e universalizados, de acordo com seus status monumentais [...]. Embora a conquista de qualquer cientista mítico seja singular, seus métodos são interpretados transcendendo as suas ocorrências particulares [...]. Elas ilustram um método da Ciência em letras grandes. Aqui, os detalhes ou contingências não podem ser mais importantes, para que não subvertam a lição geral. Conseqüentemente, as *narrativas* idealizadas nutrem a *filosofia escolar* convencional de um método científico, no sentido de um algoritmo garantido para encontrar a verdade (ALLCHIN, 2002, p. 344, grifos do autor, tradução nossa)⁸.

O método científico é considerado universal, portanto, pode ser aplicado em qualquer situação de investigação, apesar de se levarem em conta apenas os feitos pontuais de alguns sujeitos envolvidos em tal empreendimento. Essas escolhas de

⁷ A second architectural feature of myths in science is idealization. The case-histories exemplify phenomena about storytelling familiar to psychologists: *sharpening* and *leveling*. [...] Qualifications are lost. Extremes emerge. What remains is a black-and-white image of science (ALLCHIN, 2002, 344).

⁸ The stories of science thereby become idealized and universalized, in accord with their monumental status [...]. Although the achievement of any given mythic scientist is singular, their methods are cast as transcending their particular occurrences [...]. They illustrate a method of science, writ large. Here, the details or contingencies cannot be too important, lest they subvert the general lesson. Consequently, the idealized *narratives* foster the conventional *school philosophy* of a scientific method, in the sense of an algorithm guaranteed to find the truth (ALLCHIN, 2002, p. 344).

aspectos “positivos” podem parecer objetivas e imparciais, de certo modo, mas obscurecem elementos que poderiam dar pistas detalhadas dos fatos em torno de todo o processo e contexto de construção.

2.3 Drama Afetivo

Quando se trata de atrair a atenção dos espectadores, entretê-los e persuadi-los, o drama afetivo surge com essa função. Para alcançar esse efeito, alguns fatores são essenciais, como os aspectos literários do relato histórico. As histórias ganham características memoráveis, pois apresentam enredos que surgem, facilmente, em nossas memórias através de apelos emocionais. Histórias desse tipo podem ser bastante conhecidas, como anedotas, contos humorizados e empolgantes sobre personagens científicos, como Arquimedes e seu grito “eureka!”.

Mas tudo está no ofício literário: o estilo, a construção da trama, as relações entre os personagens, escolha de palavras, etc. Dentre esses dispositivos retóricos – e espero que essa frase entre no léxico dos educadores de Ciências – pode-se listar: A emoção do momento da descoberta (o desenho estereotipado da lâmpada); Reinvidicação; A surpresa do acaso; A recompensa da integridade (lealdade à evidência, resistência ao preconceito social); Vergonha (por exemplo, desafiar uma ideia fundamentalmente correta); Ironia trágica (ALLCHIN, 2002, p. 345, tradução nossa)⁹.

Outra característica do elemento referido diz respeito à polarização dos autores e das “descobertas” científicas. Nesse sentido, espera-se encontrar aqueles que sempre estiveram errados e os que estiveram certos ou a teoria correta e a errada, o cientista progressista e os agentes repressores do desenvolvimento científico. Podemos definir essas características como dispositivos retóricos (ALLCHIN, 2002).

2.4 Narrativa Explicativa e de Justificação

Nessa característica da Arquitetura dos Mitos, podemos encontrar uma descrição que nos informa sobre um tipo de “moral da história”. Os produtos da Ciência e

⁹ But it is all in the literary craft: the style, the plot construction, relationships among characters, word choice, etc. Among these rhetorical devices – and I hope that this phrase enters the lexicon of science educators – one may list: The thrill of the moment of discovery (the stereotypical light-bulb cartoon); Vindication; The surprise of chance; The reward of integrity (loyalty to evidence, resistance to social prejudice); Shame (for example, challenging an ultimately correct idea); Tragic irony (ALLCHIN, 2002, p. 345).

os processos são indissociáveis, ou seja, um produto científico existe porque houve um processo específico anterior. Essas histórias se caracterizam como “justamente-assim” (*just-so* em inglês, como é mencionado por Allchin (2002)).

Os métodos descritos no contexto de descoberta servem para justificar as conclusões e os resultados, assim como afirma a autoridade científica dos “achados”, a partir de procedimentos adequados e singulares. Nesse formato, os relatos tenderão a modelar o processo científico para mostrar uma série de eventos que levam a certos resultados.

Os elementos conspiram juntos para colapsar a natureza da Ciência em um conto muito familiar de “Como a Ciência encontra a Verdade”: A Ciência se desdobra por um método especial, independente das contingências, contexto ou valores. Todos os experimentos são bem projetados e evitam quaisquer erros. Interpretar a evidência não é problemático e produz respostas do tipo sim ou não. A conquista depende de intelecto privilegiado (Os cientistas são especiais, pessoas extraordinárias, cuja autoridade está além de qualquer dúvida). Assim: A Ciência conduz, certamente e inevitavelmente (e singularmente), à verdade, sem incerteza ou erro (Qualquer menos do que isso abandona a objetividade e se reduz ao subjetivismo) (ALLCHIN, 2002, 346, grifos do autor, tradução nossa)¹⁰.

Essas estruturas míticas são praticamente imperceptíveis para as pessoas que não receberam um treinamento adequado sobre historiografia e pseudo-história. Suas funções agem, para que os leitores ou espectadores se envolvam de maneira acrítica e contemplativa, quando deturpam a imagem da Ciência e dos atores que desempenham o papel de construtores de conhecimentos e os modos como ela funciona.

¹⁰ The elements conspire together to collapse the nature of science into an all too familiar just-so story of “How Science Finds the Truth”: Science unfolds by a special method, independent of contingencies, context, or values. All experiments are well designed and forestall any mistakes. Interpreting evidence is unproblematic, and yields yes-or-no answers. Achievement relies on privileged intellect. (Scientists are special, extraordinary people, whose authority is beyond question.) Thus: Science leads surely and inevitably (and uniquely) to the truth, without uncertainty or error. (Anything less abandons objectivity and reduces to relativism.) (ALLCHIN, 2002, 346).

3 O PROBLEMA DA MEDIÇÃO E A COMPLETUDE DA MECÂNICA QUÂNTICA

3.1 O experimento mental de Einstein, Podolsky e Rosen (EPR) e a completude da Mecânica Quântica

Ao abordar a questão da completude das teorias, o trio que constitui o Paradoxo EPR formulou alguns critérios para caracterizar o que seria uma descrição completa da realidade. Em primeiro lugar, EPR caracterizou qual descrição deveria ser considerada completa, ao afirmar que “Qualquer que seja o significado atribuído ao termo *completa*, a seguinte exigência para uma teoria completa parece ser necessária: *cada elemento da realidade física deve ter uma contrapartida na teoria física*. Chamaremos isso de condição de completude” (EINSTEIN; PODOLSKY; ROSEN, 1935, p. 777, grifos do autor, tradução nossa)¹¹.

Interpretamos, então, sob esse viés, que, para que uma descrição seja considerada completa, todos os elementos da realidade devem ser conhecidos, logo, não se concebe a hipótese de não se desconhecer nenhuma das características do que se observa, de acordo com a condição de completude de EPR. Eles acreditavam ser capazes de responder às perguntas (1) “A teoria está correta?” e (2) “A descrição dada pela teoria é completa?”. A negação de uma levaria à negação da outra, de acordo com o raciocínio expresso por eles.

Esses elementos não poderiam ser “conhecidos” a partir de suposições filosóficas apriorísticas, mas de experimentação e observação. A condição para a construção desse conhecimento era de que, durante a observação ou experimentação, não houvesse nenhuma perturbação ou modificação do sistema em investigação e que todos os elementos pudessem ser previstos com probabilidades iguais, assim como afirma EPR.

[...] Estaremos satisfeitos com o seguinte critério, o qual consideramos razoável. *Se, sem perturbar de alguma maneira um sistema, pudermos prever com certeza o valor de uma grandeza física (isto é, com probabilidade igual à unidade), então existe um elemento de realidade física correspondente a*

¹¹ Whatever the meaning assigned to the term *complete*, the following requirement for a complete theory seems to be a necessary one: *every element of the physical reality must have a counter part in the physical theory*. We shall call this the condition of completeness (EINSTEIN; PODOLSKY; ROSEN, 1935, p. 777).

essa grandeza física (EINSTEIN; PODOLSKY; ROSEN, 1935, p. 777, grifos do autor, tradução nossa)¹².

Assim, EPR assumiram que esse critério está em acordo com as ideias das teorias clássicas e quânticas, como um tipo de critério universal para validar teorias. A princípio, os autores do EPR propuseram um experimento mental, utilizando uma partícula com um grau de liberdade e a definição de estado caracterizado pela função de onda Ψ , que MQ entende como capaz de descrever completamente a realidade física. Em seguida, o EPR supôs dois subsistemas que estavam interagindo e depois se separaram.

Enfatizamos que, devido às condições teóricas estabelecidas pela MQ, ao se observar um fenômeno que envolve partículas, não é possível, fisicamente, prever ou conhecer todas as características envolvidas no evento simultaneamente. A partir desse apontamento, podemos observar os pontos de encontro entre o raciocínio de EPR e a validade da teoria quântica.

Para se considerar um elemento de realidade, é necessário um valor que corresponda a uma grandeza física, sempre que a partícula se encontrar no estado Ψ , correspondente à definição da função de onda. Se esse Ψ for uma autofunção dessa grandeza, esse elemento de realidade existirá. Vamos utilizar as nomenclaturas apresentadas por EPR em seu artigo, em que 'A' é a grandeza física, e 'a', seu elemento de realidade. A seguir, apresentamos a equação (1) que mostra a relação entre Ψ , A e a.

$$\Psi' \equiv A\Psi = a\Psi \quad (1)$$

Para o exemplo do experimento mental com a partícula, os autores do EPR usaram as grandezas momento linear p e a posição q da partícula. Em seguida, definiram a função de onda, como indica a Equação (2), além de apresentar a relação entre Ψ e a constante p_0 (elemento de realidade relacionado à grandeza p), resultado da primeira derivada, Equação (4), da função de onda. Nas equações abaixo, h é a constante de Planck, e x é a variável independente.

¹² We shall be satisfied with the following criterion, which we regard as reasonable. *If, without in any way disturbing a system, we can predict with certainty (i.e., with probability equal to unity) the value of a physical quantity, then there exists an element of physical reality corresponding to this physical quantity* (EINSTEIN; PODOLSKY; ROSEN, 1935, p. 777).

$$\Psi = e^{(2\pi i/h)p_0 x} \quad (2)$$

$$p = (h/2\pi i)\partial/\partial x \quad (3)$$

$$\Psi' = p\Psi = (h/2\pi i)\partial\Psi/\partial x = p_0\Psi \quad (4)$$

Levando em consideração o significado da Equação (1), se não pudéssemos mais falar de elemento de realidade a , não poderíamos considerar a mesma grandeza física A . EPR fazem essa observação para falar da posição da partícula e para mostrar que deveríamos definir outra. Essa outra grandeza foi definida pelo operador posição q , correspondente ao elemento de realidade x , a coordenada da partícula.

A partir de um intervalo definido entre a e b , podemos calcular a probabilidade de encontrar a partícula entre esses valores da coordenada x . A integral na Equação (5) mostra o resultado de uma medição realizada sobre a partícula e a probabilidade de encontrá-la. EPR afirmam que, para se conhecer essa localização, seria indispensável a medição e que esse procedimento seria uma violação aos princípios da MQ, pois o conhecimento de um dos elementos de realidade impediria o conhecimento do outro.

$$P(a, b) = \int_a^b \bar{\Psi}\Psi dx = \int_a^b dx = b - a \quad (5)$$

Um valor definido da coordenada, para uma partícula no estado dado pela Eq. (2), não é previsível, mas pode ser obtido apenas por uma medição direta. Tal medição, no entanto, perturba a partícula e, assim, altera seu estado. [...] A conclusão usual disso é que, na mecânica quântica, *quando o momento da partícula é conhecido, sua coordenada não tem realidade física* (EINSTEIN; PODOLSKY; ROSEN, 1935, p. 778, grifos do autor, tradução nossa)¹³.

Numa linguagem matemática, se as grandezas não comutarem, significa que ambas não podem ter realidades simultâneas, ou seja, o conhecimento de uma impede o da outra, como já foi dito. Isso equivale a dizer que, se $pq \neq qp$, não se pode conhecê-las nem as calcular, de modo a expressá-las ao mesmo tempo. EPR afirmam

¹³ A definite value of the coordinate, for a particle in the state given by Eq. (2), is thus not predictable, but may be obtained only by a direct measurement. Such a measurement however disturbs the particle and thus alters its state. After the coordinate is determined, the particle will no longer be in the state given by Eq. (2). The usual conclusion from this in quantum mechanics is that *when the momentum of a particle is known, its coordinate has no physical reality* (EINSTEIN; PODOLSKY; ROSEN, 1935, p. 778).

que esse argumento da MQ leva a uma contradição, pois “segue que ou (1) a descrição da mecânica quântica da realidade dada pela função de onda não é completa ou (2) quando os operadores correspondentes às duas grandezas físicas não comutam, elas não podem ter realidades simultâneas” (EINSTEIN; PODOLSKY; ROSEN, 1935, p. 778, grifos do autor, tradução nossa)¹⁴.

Ao prosseguir com a demonstração sobre a completude da MQ, os autores do EPR propuseram analisar o caso de dois sistemas parciais -I e II- de um sistema maior. Primeiramente, sabia-se que I e II estavam interagindo e se separam depois desse estágio inicial. O tempo de interação permitido é de $t = 0$ até $t = T$, e os estados dos sistemas parciais são conhecidos em $t = 0$. Eles supuseram que o estado combinado I + II poderia ser calculado através da função de onda de Schrödinger para qualquer tempo posterior, particularmente para $t > T$.

Sobre as medições suplementares em um dos sistemas, EPR afirmam que esse processo poderia ser realizado usando-se o método de redução do pacote de onda de acordo com a MQ. Esse método resulta na Equação (6) e foi expresso por EPR, para o caso em que A é a grandeza medida, como se segue:

Sejam a_1, a_2, a_3, \dots , autovalores da mesma grandeza física A , pertencentes ao sistema I e $u_1(x_1), u_2(x_1), u_3(x_1), \dots$, as autofunções correspondentes, nas quais x_1 representa as variáveis usadas para descrever o primeiro sistema. [...] Suponha agora que a grandeza A seja medida e seja encontrado que tenha o valor a_k . Então, conclui-se que, após a medição, o primeiro sistema é deixado no estado dado pela função de onda $u_k(x_1)$, e que o segundo sistema seja deixado no estado dado pela função de onda $\psi_k(x_2)$. Esse é o processo de redução do pacote de onda (EINSTEIN; PODOLSKY; ROSEN, 1935, p. 779, tradução nossa)¹⁵.

$$\Psi(x_1, x_2) = \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(x_2)u_n(x_1) \quad (6)$$

O trio EPR supôs a medição da grandeza B , que tem os autovalores b_1, b_2, b_3, \dots , e as autofunções $v_1(x_1), v_2(x_1), v_3(x_1), \dots$, de modo a obterem a Equação (7), na qual

¹⁴ From this follows that either (1) *the quantum mechanical description of reality given by the wave function is not complete* or (2) *when the operators corresponding to two physical quantities do not commute the two quantities cannot have simultaneous reality* (EINSTEIN; PODOLSKY; ROSEN, 1935, p. 778).

¹⁵ Let a_1, a_2, a_3, \dots be the eigenvalues of some physical quantity A pertaining to system I and $u_1(x_1), u_2(x_1), u_3(x_1), \dots$ the corresponding eigenfunctions, where x_1 stands for the variables used to describe the first system. [...] Suppose now that the quantity A is measured and it is found that it has the value a_k . It is then concluded that after the measurement the first system is left in the state given by the wave function $u_k(x_1)$, and that the second system is left in the state given by the wave function $\psi_k(x_2)$. This is the process of reduction of the wave packet (EINSTEIN; PODOLSKY; ROSEN, 1935, p. 779).

φ_s representa o conjunto dos novos coeficientes de uma expansão de Ψ . Seguindo o mesmo raciocínio, EPR dizem que, “se, agora, a grandeza B for medida e se encontrarmos o valor b_r , depois da medição, o primeiro sistema é deixado no estado dado por $v_r(x_1)$, e o segundo deixado no estado dado por $\varphi_r(x_2)$ ” (EINSTEIN; PODOLSKY; ROSEN, 1935, p. 779, tradução nossa)¹⁶.

$$\Psi(x_1, x_2) = \sum_{s=1}^{\infty} \varphi_s(x_2)v_s(x_1) \quad (7)$$

A consideração a respeito dos resultados anteriores endossa a possibilidade de existirem “estados diferentes” para os dois sistemas, depois de diferentes medições sobre eles. EPR atribuem essa possibilidade ao fato de os sistemas não estarem mais em interação nesse momento, excluindo-se as chances de qualquer interferência por causa dessas medições, conforme suas palavras: “Assim, é possível atribuir duas funções de onda diferentes (em nosso exemplo ψ_k e φ_r) à mesma realidade (o segundo sistema após a interação com o primeiro)” (EINSTEIN; PODOLSKY; ROSEN, 1935, p. 779, grifos do autor, tradução nossa)¹⁷.

Para o caso em que os dois sistemas são duas partículas, sendo ψ_k e φ_r autofunções dos operadores P e Q não comutativos, sua função de onda seria descrita como nas Equações (8) e (9). Mais uma vez, são imaginadas medições das grandezas A e B , resultando nas Equações (10) e (11). Os operadores P e Q estão representados nas Equações (12) e (13), respectivamente. A Equação (14) representa a não comutatividade entre esses operadores. As equações mencionadas de (8) a (14) estão dispostas no Quadro 2 a seguir.

Quadro 2 – Equações que descrevem um sistema de duas partículas

$$\Psi(x_1, x_2) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{(2\pi i/h)(x_1 - x_2 + x_0)p} dp \quad (8)$$

$$\Psi(x_1, x_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_p(x_2)u_p(x_1)dp \quad (9)$$

$$\psi_p(x_2) = e^{-(2\pi i/h)(x_2 - x_0)p} \quad (10)$$

$$v_x(x_1) = \delta(x_1 - x) \quad (11)$$

¹⁶ [...] If now the quantity B is measured and is found to have the value b_r , we conclude that after the measurement the first system is left in the state given by $v_r(x_1)$ and the second system is left in the state given by $\varphi_r(x_2)$ (EINSTEIN; PODOLSKY; ROSEN, 1935, p. 779).

¹⁷ [...] Thus, it is possible to assign two different wave functions (in our example ψ_k and φ_r) to the same reality (the second system after the interaction with the first) (EINSTEIN; PODOLSKY; ROSEN, 1935, p. 779).

$$P = (h/2\pi i)\partial/\partial x_2 \quad (12)$$

$$Q = x_2 \quad (13)$$

$$PQ - QP = h/2\pi i \quad (14)$$

Fonte: Elaborado pelo autor - Adaptado de Einstein, Podolsky e Rosen (1935).

Esse conjunto de equações serviu para mostrar que, apesar de os operadores P e Q não comutarem entre si, as grandezas momento e posição têm realidades simultâneas, o que seria contrário ao que se defende em MQ. Essa conclusão leva EPR a admitirem que a descrição da realidade física pela MQ não é completa, levando em consideração o critério de realidade e as condições de completude.

3.2 Resposta de Bohr às considerações de EPR sobre a completude da MQ

Em seu artigo de 1935, Bohr estabeleceu uma defesa da completude da MQ, a partir de um novo conceito que chamou de Complementaridade, chamando a atenção para a relação entre algumas grandezas que se correlacionam. Além disso, ele se referiu a processos de medições partindo de objetos que interagem com aparatos de medição, seguindo uma ideia similar à utilizada por EPR.

Como podemos observar em sua publicação, Bohr (1935) concorda com EPR a respeito do que se entende por “expressão de física” e ratifica a afirmação de que essa realidade deve ser descrita a partir da expressão de atividades experimentais, opostamente às apreensões de concepções apriorísticas. Nesse momento, ele trouxe à tona o critério de realidade, formulado pelos referidos autores, ao reafirmar que, para realizar esses procedimentos experimentais, não se perturbem os sistemas em investigação.

A respeito das demonstrações realizadas por EPR, Bohr explicou que elas ofereciam uma completude matemática através de teoremas de transformação (essa explicação pode ser encontrada na terceira nota de rodapé do seu artigo). Tais demonstrações nos levam a acreditar que é possível conhecer todas as características ou grandezas de um sistema atômico, porém desacredita-nos do princípio que essas grandezas coexistem e podem ter realidades (ou serem medidas, conhecidas) simultaneamente.

Por outro lado, Bohr (1935) chamou a atenção para a interação que pode ocorrer entre o objeto observado e os aparatos de medição. Esse contato pode causar reações que uma descrição mecânico-clássica seria incapaz de explicar. Assim, para

considerar os efeitos produzidos a partir de sistemas quânticos, devemos entender que as leis da Física Clássica se expressam de maneira limitada nas considerações dos sistemas atômicos.

[...] a *interação finita entre objeto e aparatos de medição*, condicionada pela própria existência do quantum de ação, implica – por causa da impossibilidade de controlar a reação do objeto nos instrumentos de medição, caso sirvam à sua finalidade – a necessidade de uma renúncia final do ideal clássico de causalidade e uma revisão radical da nossa atitude em relação ao problema da realidade física (BOHR, 1935, p. 697, grifos do autor, tradução nossa)¹⁸.

O autor baseou sua resposta nos experimentos mentais sugeridos por EPR, considerando a medição das grandezas como um momento linear e a posição da partícula em relação aos aparatos com os quais interagem. Por causa disso, sugeriu que observássemos uma partícula que passaria por uma fenda de um diafragma, considerando que o seu momento fosse completamente conhecido antes de ela ter colidido com o diafragma. As relações de incerteza de De Broglie afirmam que elas se correlacionam de acordo com as relações de comutação e do princípio de Heisenberg.

[...] Mesmo que o momento dessa partícula seja completamente conhecido antes que colida no diafragma, a difração pela fenda da onda plana, dando a representação simbólica de seu estado, implicará uma incerteza no momento da partícula, depois de ter passado pelo diafragma, quanto mais estreita for a fenda. Agora, a largura da fenda, se de alguma forma ainda for grande, comparada ao comprimento de onda, pode ser tomada como a incerteza Δq da posição da partícula ao diafragma, em uma direção perpendicular ao diafragma, em uma direção perpendicular à fenda. Além disso, simplesmente é visto da relação de De Broglie, entre momento e comprimento de onda, que a incerteza Δp do momento da partícula nessa direção está correlacionada à Δq por meio do princípio geral de Heisenberg $\Delta p \Delta q \sim h$ (BOHR, 1935, p. 697, tradução nossa)¹⁹.

¹⁸ [...] the *finite interaction between object and measuring agencies* conditioned by the very existence of the quantum of action entails – because of the impossibility of controlling the reaction of the object on the measuring instruments if these are to serve their purpose – the necessity of a final renunciation of the classical ideal of causality and a radical revision of our attitude towards the problem of physical reality (BOHR, 1935, p. 697).

¹⁹ [...] Even if the momentum of this particle is completely known before it impinges on the diaphragm, the diffraction by the slit of the plane wave giving the symbolic representation of its state will imply an uncertainty in the momentum of the particle, after it has passed the diaphragm, which is the greater the narrower the slit. Now the width of the slit, at any rate if it is still large compared with the wave-length, may be taken as the uncertainty Δq of the position of the particle relative to the diaphragm, in a direction perpendicular to the slit. Moreover, it is simply seen from de Broglie's relation between momentum and wave-length that the uncertainty Δp of the momentum of the particle in this direction is correlated to Δq by means of Heisenberg's general principle $\Delta p \Delta q \sim h$ (BOHR, 1935, p. 697).

Para descrever medições de momento e deslocamento de uma partícula, Bohr sugeriu dois tipos de arranjos experimentais. O primeiro é idealizado para que se possa medir a posição, e o segundo é adequado para medir o momento. Esses arranjos experimentais são compostos de diafragmas e outras partes como diafragmas com fendas paralelas às do primeiro diafragma.

Todas as partes do primeiro arranjo experimental são rigidamente conectadas. Assim, o momento trocado entre a partícula e o arranjo não causa reações consideráveis na medição da posição e é absorvido pelo suporte comum do aparato. Sendo assim, poderíamos conhecer a posição de chegada da partícula por meio da placa fotográfica utilizada para detectá-la. Não se trata de uma limitação desse arranjo medir todas as grandezas associadas à partícula, mas de característica do método utilizado para essa finalidade.

[...] A impossibilidade de uma análise mais atenta das reações entre a partícula e o instrumento de medição não é, de fato, nenhuma peculiaridade do procedimento experimental descrito, mas é, pelo contrário, uma propriedade essencial de qualquer arranjo adequado ao estudo do fenômeno do tipo em questão, para o qual temos que fazer com uma característica de *individualidade* completamente estranha à física clássica (BOHR, 1935, p. 697, grifos do autor, tradução nossa)²⁰.

Tendo em vista que as partes desse arranjo estão rigidamente fixadas num suporte comum, o momento trocado entre a partícula e ele poderia ser desconsiderado. Essa é uma maneira idealizada de medir a posição da partícula depois da interação com o aparato, já que não haveria deslocamento que impossibilitasse tal visualização.

No segundo arranjo, o primeiro diafragma já está conectado mais rigidamente e possibilita que se movimente de acordo com a reação produzida a partir de suas possíveis interações. Aqui, o momento da partícula pode ser medido com qualquer precisão que se deseje, basta controlar o espaço por onde a partícula se desloca e os intervalos de tempo de ocorrência.

Os dois arranjos descritos se diferem em seus propósitos de medição, enquanto um é próprio para medir o deslocamento e a posição da partícula e nos oferece um controle do momento trocado, o outro é adequado para medir o momento em que

²⁰ [...] The impossibility of a closer analysis of the reactions between the particle and the measuring instrument is indeed no peculiarity of the experimental procedure described, but is rather an essential property of any arrangement suited to the study of the phenomena of the type concerned, where we have to do with a feature of *individuality* completely foreign to classical physics (BOHR, 1935, p. 697).

passa da partícula para o aparato. Sua largura deve ser a mais estreita possível, e seu tempo de ocorrência longo. As ressalvas de Bohr para essas observações é de que nenhum dos arranjos é capaz de medir as duas grandezas a partir das mesmas configurações, mas que, naturalmente, limitam-se a medir a grandeza para a qual é adequada.

A principal diferença entre os dois arranjos experimentais sob consideração é, no entanto, que no arranjo estudado para o controle do momento do primeiro diafragma, esse corpo não pode mais ser usado como um instrumento de medição para o mesmo propósito como no caso anterior, mas deve ser tratado, quanto à sua posição relativa ao resto do aparato, como a partícula atravessando a fenda, como um objeto de investigação, no sentido que as relações de incerteza da mecânica quântica, em relação à posição e ao momento, devam ser explicitamente levadas em conta (BOHR, 1935, p. 698, tradução nossa)²¹.

O que se pode entender das diferenças expressas por cada arranjo experimental é que, quando procuramos medir uma das grandezas, há a incerteza sobre a outra, o que significa que a medição de uma impossibilita ou destrói o conhecimento da outra, de acordo com o princípio de incerteza $\Delta p \Delta q \sim h$. A respeito do conhecimento de uma das grandezas, temos a liberdade de escolher para medir uma ou outra, conforme as configurações dos arranjos experimentais.

Em um arranjo, adequado às medições do momento do primeiro diafragma, fica claro que mesmo que tenhamos medido esse momento antes da passagem da partícula através da fenda, estaremos depois dessa passagem ainda com uma *escolha livre*, quer desejemos saber o momento da partícula ou sua posição inicial relativa ao resto do aparato (BOHR, 1935, p. 698, grifos do autor, tradução nossa)²².

Ao fazer essas considerações, Bohr utilizou conceitos de localização espacial e o teorema da conservação do momento, comuns à Teoria Clássica, evitando qualquer tipo de ambiguidade nessa abordagem. Esse uso nos mostra que, até para os conceitos clássicos, encontramos restrições referentes às escolhas adotadas para

²¹ The principal difference between the two experimental arrangements under consideration is, however, that in the arrangements suited for the control of the momentum of the first diaphragm, this body can no longer be used as a measuring instrument for the same purpose as in the previous case, but must, as regards its position relative to the rest of the apparatus, be treated, like the particle traversing the slit, as an object of investigation, in the sense that the quantum-mechanical uncertainty relations regarding its position and momentum must be taken explicitly into account (BOHR, 1935, p. 698).

²² In an arrangement suited for measurements of the momentum of the first diaphragm, it is further clear that even if we have measured this momentum before the passage of the particle through the slit, we are after this passage still left with a *free choice* whether we wish to know the momentum of the particle or its initial position relative to the rest of the apparatus (BOHR, 1935, p. 698).

cada arranjo experimental, portanto, não se trata de uma incompletude da teoria quântica.

O desconhecimento de algumas grandezas associadas ao sistema quântico ocorre por causa da incapacidade de controlar, precisamente, as interações entre o objeto e o aparato de medição. Nos casos em que se deseje medir a posição, a troca de momento é controlada, e nos casos em que se conhece o momento final de uma partícula, após a interação, é necessário que haja interação, e as fendas dos diafragmas devem ser estreitas o suficiente.

De acordo com o critério de realidade sugerida por EPR, como poderíamos descrever completamente um sistema físico considerando as próprias restrições oferecidas por cada arranjo experimental? Ao considerar um experimento, devemos levar em conta todas as peculiaridades próprias de cada ajuste adequado ao observar um tipo de grandeza ou informação sobre o próprio sistema.

A medição de uma grandeza pode parecer, nos termos aqui expostos, como se tivesse um caráter arbitrário de escolha, mas diz respeito às manipulações que realizamos para cada tipo de observação. Para Bohr, “[...] temos em cada arranjo experimental, adequado ao estudo dos fenômenos quânticos apropriados, não apenas o desconhecimento do valor de certas grandezas físicas, mas a impossibilidade de definir essas grandezas de maneira não ambígua” (BOHR, 1935, p. 699, tradução nossa)²³.

O trio EPR apresenta o resultado de todas as medições das grandezas, o momento inicial e o final e suas coordenadas inicial e final, de duas partículas livres que escapam depois da interação com o aparato de medição. Para justificar seu argumento, eles assumiram uma normalização do sistema espacial de referência por meio de uma rotação ortogonal dos planos (q_1p_1) e (q_2p_2) , cujo ângulo de rotação é $\theta = -\pi/4$ e $P_2 = 0$ em sua Equação (9), de acordo com a explicação de Bohr na sexta nota de rodapé da publicação de seu artigo.

Quanto à premissa “sem de alguma forma perturbar um sistema”, Bohr afirma que EPR equivocaram-se, levando em conta o que anteriormente foi exposto sobre os processos de medição e as condições experimentais dos arranjos. Assim, é necessário perceber que “[...] há essencialmente a questão de *uma influência nas próprias*

²³ [...] we have in each experimental arrangement suited for the study of proper quantum phenomena not merely to do with an ignorance of the value of certain physical quantities, but with the impossibility of defining these quantities in an unambiguous way (BOHR, 1935, p. 699).

condições que definem os tipos possíveis de predições sobre o comportamento futuro do sistema” (BOHR, 1935, p. 700, grifos do autor, tradução nossa)²⁴.

Depois de feitas todas as considerações sobre os processos de medição e dos arranjos, Bohr (1935) caracterizou a incapacidade de se conhecerem simultaneamente as grandezas físicas como complementaridade e designou os elementos que descrevem um sistema atômico como conectados ou correlacionados. Assim, tentar conhecer um deles interfere na realidade do outro.

Além do momento e da posição, Bohr (1935) elencou o tempo e a energia como grandezas que se correlacionam. Se considerarmos que, nos aparatos de medição, há relógios como marcados dos tempos dos processos, devemos prestar atenção aos efeitos produzidos pela transferência incontável de energia. Será que todos os relógios podem ser usados, simultaneamente, para medir o tempo das interações ou será que cada um atuará de modo desconexo dos demais? A troca de momento, nesses casos, pode implicar o abandono desses relógios como indicadores de tempo, levando em conta a incerteza criada por essa transferência.

Caracterizar as partes de um sistema atômico é indispensável para a MQ, já que a mínima interação entre objetos medidos e aparatos pode resultar em diferenças significativas para descrever o fenômeno. Essa caracterização não é relevante para a Física Clássica, pois o sistema é observado como um todo, de maneira integral, e não é preciso observar individualmente suas partes.

[...] Enquanto na física clássica, no entanto, a distinção entre objeto e aparatos de medição não ocasionam qualquer diferença no caráter da descrição dos fenômenos em questão, sua importância fundamental na teoria quântica, como temos visto, tem sua raiz no uso indispensável dos conceitos clássicos na interpretação de todas as medições apropriadas (BOHR, 1935, p. 701, tradução nossa)²⁵.

As conclusões de EPR são sustentadas com base nas escolhas das configurações dos arranjos experimentais e estão de acordo com as formulações e os teoremas da mecânica clássica. Essas condições cerceiam qualquer inconsistência ou limitação enfrentadas por essa teoria e nos conduzem a concluir que a descrição da realidade

²⁴ [...] there is essentially the question of *an influence on the very conditions which define possible types of predictions regarding the future behavior of the system* (BOHR, 1935, p. 700).

²⁵ [...] While, however, in classical physics the distinction between object and measuring agencies does not entails any difference in the character of the description of the phenomena concerned, its fundamental importance in quantum theory, as we have seen, has its root in the indispensable use of classical concepts in the interpretation of all proper measurements (BOHR, 1935, p. 701).

física pela MQ é incompleta, porquanto não descreve todos os elementos do sistema físico.

Para concluir a discussão sobre a questão da completude da Teoria Quântica, Bohr (1935), em seu artigo, chamou a atenção para o fato de que a Teoria Geral da Relatividade (TGR), associada ao nome de Einstein, valeu-se de novos paradigmas e leis físicas para se estabelecer cientificamente. Assim como as grandezas complementares, como Energia e Tempo ou Momento e Posição, as noções de coordenadas na TGR exigiam uma nova epistemologia que as justificasse.

3.3 O Paradoxo do Gato de Schrödinger e o problema da medição na Mecânica Quântica

Ao pensar sobre um sistema quântico, composto de um objeto a ser observado e um aparelho de medição, vamos considerar alguns conceitos como realidade, estados do sistema, consequências dos processos de medição realizados sobre ele, quais resultados devemos esperar dessas medições e qual o papel da função de onda. Vamos discutir sobre essas questões através do Paradoxo elaborado, de certo modo, irônico, por Schrödinger sobre a completude da MQ.

A elaboração do Paradoxo do Gato nos leva a pensar sobre dois tipos de significado que poderíamos atribuir ao fenômeno observado na interação entre o sistema quântico e o aparelho de medição: um que diz respeito ao nosso conhecimento do sistema medido (alternativa epistemológica) e o outro que fala do estado *real* do sistema (alternativa ontológica) (BALSAS S. J., 2013).

Balsas, em seu livro, 'Realismo e Localidade em Mecânica Quântica', coloca o Paradoxo do Gato como um dos problemas ainda não resolvidos da MQ. Esse problema envolve questões relacionadas à medição e às consequências dela. O princípio de incerteza de Heisenberg nos diz que não se podem conhecer diversos elementos de um sistema quântico e, para explicar esse fato, recorreu ao termo 'redução do pacote de onda' (ou redução do vetor de estado).

A função de onda Ψ é considerada como uma sobreposição de estados, provavelmente, calculáveis ou conhecíveis, mas a medição o obriga a mostrar apenas um desses estados. Podemos dizer que, antes da medição, Ψ se comporta quanticamente por meio de uma causalidade natural, continuamente no tempo, mas, quando

decidimos fazer medições sobre o sistema, a função de onda sofre uma redução de estado ou colapso que ocasiona um comportamento descontínuo e probabilístico.

A distinção entre os efeitos causais e os probabilísticos foi enunciada por Von Neumann (1903-1957), ao distinguir os mundos clássico e quântico, tomando o aspecto da medida como ponto de partida para essa cisão. Medir pode ser entendido como intervir em um sistema ou um conjunto deles (esse conjunto de sistemas é designado por *ensemble* $[S_1 \dots, S_N]$, uma variedade de sistemas que descreve um sistema maior) e pode ser de dois tipos:

Tipo 1 O sistema é sujeito a “mudanças arbitrárias através de medidas”, isto é, “experiências actantes ou medidas, descontínuas, não-causais e instantâneas”, de acordo com a expressão $\rho \rightarrow \rho' = \sum_n \langle \rho a_n | a_n \rangle P_{a_n}$ (3.13).

Tipo 2 O sistema sofre “mudanças automáticas que ocorrem com a passagem do tempo” e que descrevem “como o sistema muda contínua e causalmente com o curso do tempo, se a energia total é conhecida”; essas mudanças obedecem à equação de Schrödinger dependente do tempo e, portanto, a uma transformação unitária, isto é $\rho \rightarrow \rho_t = e^{-\frac{i}{\hbar}tH} \rho e^{\frac{i}{\hbar}tH}$ (3.14) (BALSAS S. J., 2013, p. 88).

A redução de estado é a representação de apenas uma das grandezas conjugadas do sistema, que reduz todas as probabilidades de conhecimento a apenas uma. Nesse sentido, críticos da MQ foram levados a questionar sobre como essa redução ou colapso acontece, pois essa não é uma descrição comum como se costuma ver em teorias físicas.

A equação da função de onda da MQ é considerada como invariante, ou seja, sua aplicabilidade deve se estender a diversos casos, e não, restringir-se a casos particulares. Na condição de invariante, a descrição da realidade física deve ser completa, sem que reste dúvidas quanto aos elementos componentes constituintes do sistema. Todavia, a redução de estado ou do pacote de onda poderia ser um indício de que a função de onda não ofereceria tal descrição devido ao que se obtém a partir de medições do sistema.

Schrödinger sugeriu, em seu artigo de 1935 - A situação atual na MQ - que imaginássemos um gato dentro de uma câmara de aço e uma “máquina infernal”. Nesse experimento mental, haveria um contador Geiger que seria acionado, quando um átomo de uma substância radioativa decaísse depois de algum tempo; também haveria uma ampola de gás cianídrico que seria quebrada após o provável decaimento do átomo (BALSAS S. J., 2013).

Analogamente à teoria da medida de Von Neumann, Schrödinger caracteriza o sistema do seu experimento mental composto por um microssistema **S** (átomo radioativo) e pelo aparelho de medida **M** (máquina infernal). O gato representaria o ponteiro e poderia exibir duas posições (ou estados prováveis) - gato vivo ou morto. Esses estados são reduzidos a um dos valores depois de observados (BALSAS S. J., 2013).

Seja **A** o observável que representa a grandeza que descreve se o átomo radioativo decaiu ou não, e $|a_{ini}\rangle$ e $|a_{dec}\rangle$ os dois estados do átomo, considerados antes e depois do decaimento. Se $|\phi_{vivo}\rangle$ e $|\phi_{morto}\rangle$ designarem as funções de onda que descrevem, respectivamente, os dois possíveis estados do gato, então, a função de onda $|\Psi(t)\rangle$ do sistema composto **S** + **M** no instante inicial é dada por $|\Psi_{ini}\rangle = |\Psi(t=0)\rangle = |a_{ini}\rangle \otimes |\phi_{vivo}\rangle$ (3.29). O estado desse sistema composto vai evoluir no tempo de acordo com $|\Psi(t)\rangle = \alpha(t)|a_{ini}\rangle \otimes |\phi_{vivo}\rangle + \beta(t)|a_{dec}\rangle \otimes |\phi_{morto}\rangle$ (3.30) (BALSAS S. J., 2013, pp. 113-114).

A abertura da câmara resultaria em duas probabilidades (Equações 14 e 15) referentes aos estados sobrepostos do gato - vivo ou morto - que sofreriam uma redução instantânea para um deles. Encontrar o gato vivo ou morto é igualmente provável, mas, quando se abre a câmara e se observa o que aconteceu, esses estados deixam de ser sobrepostos, e a função de onda reporta, somente, a um deles. Balsas (2013) aponta duas interpretações possíveis, uma que diz respeito ao nosso conhecimento do sistema, e outra, ao seu estado real.

$$P_{vivo}(t) = |\alpha(t)|^2 \propto e^{-\frac{t}{T_0}} \quad (14)$$

$$P_{morto}(t) = |\beta(t)|^2 \propto 1 - e^{-\frac{t}{T_0}} \quad (15)$$

Se considerarmos a redução do estado Ψ como nosso conhecimento do sistema, questionamentos sobre os estados sobrepostos levam à negação da completude da MQ, pois a teoria aduz que o gato está vivo ou morto, simultaneamente, e esses estados estão emaranhados e mutuamente excludentes. Sobre o estado real do sistema, a medida leva à redução de estado, que deve ser explicada no processo físico que se observa (BALSAS S. J., 2013).

Nos termos aqui elencados, temos uma discussão centrada nos aspectos realistas da natureza, o que pode ser considerado como constituinte da natureza e de como poderíamos conhecê-los. No ano de 1935, Einstein e Schrödinger trocaram correspondências a respeito da problemática da completude da MQ e debateram sobre

como seria uma teoria que descrevesse completamente a realidade a partir da teoria física.

No debate sobre a completude da MQ, Einstein recebeu o apoio de Schrödinger, que, para defender uma descrição singular do sistema, estabeleceu algumas condições para a expansão bilinear (Equação (16)), adequando-a às condições expostas por Einstein. Em uma carta datada de 19 de junho de 1935, Einstein agradeceu a Schrödinger e enfatizou a realidade como seu principal questionamento.

$$\Psi(x_1, x_2) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \Psi_n(x_2) u_n(x_1) \quad (16)$$

A resposta de Einstein à carta de Schrödinger explicita a importância do conhecimento da realidade a partir da descrição física: “A real situação repousa sobre o fato de que a física é um tipo de ‘metafísica’. [...] A Física descreve a ‘realidade’, mas nós não sabemos o que é a ‘realidade’, pois apenas a conhecemos através da descrição física” (MEHRA; RECHENBERG, 2001, p. 740, tradução nossa).

O conhecimento da realidade deveria estar condicionado à medição, como acontece nos modelos teóricos clássicos, e nos possibilitar conhecer tudo o que se queria de qualquer sistema investigado. Dessa maneira, poderíamos considerar tal descrição como completa, pois não deixaria nenhuma dúvida sobre cada informação que compõe um sistema atômico.

Sobre o conhecimento dos elementos de um sistema e a relação com a redução do pacote de onda, Einstein escreveu a Schrödinger, também em 19 de junho de 1935, exemplificando essas questões a partir do experimento de duas caixas e uma esfera. Nesse experimento, aborda-se a probabilidade de a esfera se encontrar numa das caixas depois de um tempo de interação entre elas. Uma descrição completa mostraria que a esfera estaria em uma das caixas e que sempre esteve lá, antes da observação, aspecto contrário ao colapso da função de onda.

Agora eu descrevo um estado como segue: *A probabilidade de encontrar a esfera na primeira caixa é 1/2*. Essa é uma descrição completa? [Resposta] *Não*. Uma descrição completa é: a bola *está* na primeira caixa (ou não está). Essa deve parecer a caracterização de uma descrição completa. [Resposta] *Sim*. Antes de abrir a tampa, a bola não está em nenhuma das duas caixas. O fato de estar em uma determinada caixa ocorre ao abrir a tampa. Nesse sentido, apenas o caráter estatístico do mundo experienciado ou a estrutura empírica dessa lei (*Gesetzlichkeit*) surge. O estado antes de abrir [a tampa] pode ser *completamente* caracterizado pelo número 1/2, cujo significado se manifesta no processo de observação, apenas como uma afirmação estatís-

tica. A estatística surge apenas para introduzir fatores insuficientemente conhecidos, estranhos ao sistema considerado, através da observação (Einstein a Schrödinger. MEHRA; RECHENBERG, 2001, p. 740, grifos do autor, tradução nossa)²⁶.

Para fazer uma descrição completa de um sistema, a teoria física deve servir para apoiar o que se observa. A redução de estado pareceria uma justificativa matemática que não demonstraria tal qualidade. A certeza sobre a localização da bola ou dos estados vivo ou morto do gato deveria ser precisamente afirmada para que um sistema pudesse ser completamente caracterizado, como podemos observar nas inquietações de Einstein e Schrödinger.

No mundo macroscópico, sempre que lançamos uma moeda, teremos cara ou coroa como resultados prováveis, mas nunca observamos uma superposição desses resultados. O mesmo poderia ocorrer com uma bola lançada de uma sala com duas janelas a qual passaria por uma delas (GREENSTEIN; ZAJONC, 1997). Essas analogias com o que se observaria no caso de um gato preso numa câmara de aço nos levam a pensar que nunca observaríamos isso em nossas vidas diárias.

Devemos pensar que essas reduções de estados ou colapso da função de onda não acontecem em níveis macroscópicos, mas podem ser vislumbradas em níveis microscópicos, subatômicos. Assim, é mais adequado associar o Paradoxo do Gato às leis que descrevem o que acontece nessa ordem de grandeza, como é o caso do efeito de interferência de um elétron que passa por duas fendas, ao mesmo tempo, quando não decidimos conhecer qual foi o caminho percorrido por ele, caso contrário, nós o “forçaríamos” a percorrer determinado caminho.

Uma pista para a afirmação correta do Paradoxo do Gato pode ser encontrada em um dos exemplos macroscópicos que demos acima: a bola de beisebol que, quando lançada através de uma parede perfurada por duas janelas, passa através de uma ou de outra, mas nunca por ambas. Mas os elétrons podem perfeitamente bem passarem através das duas ao mesmo tempo! O fenômeno de interferência demonstra esse fato. [...] Lembre-se que se formos observar diretamente o caminho de cada elétron, o observaríamos

²⁶ Now I describe a state as follows: *The probability to find the sphere in the first box is 1/2*. Is this a complete description? [Answer] *No*. A complete description is: the ball *is* in the first box (or it is not there). This must look like the characterization of a complete description. [Answer] *Yes*. Before I open the lid, the ball is not in either of the two boxes. Its being in a certain box comes about only by opening the lid. In this way, only the statistical character of the experienced world, or the empirical structure of its law (*Gesetzlichkeit*) arises. The state before opening [the lid] can be *completely* characterized by the number $1/2$, whose meaning manifests itself in the process of observation only as a statistical statement. The statistical arises only by introducing insufficiently known factors, foreign to the system considered, through the observation (Einstein to Schrödinger, 19 June 1935. MEHRA; RECHENBERG, 2001, p. 740).

passando através de uma ou de outra fenda – assim como, quando observamos o gato, o encontramos vivo ou morto – e, nessa circunstância, nenhum padrão de interferência aparecerá. Mas se escolhermos *não* observar o caminho do elétron obtemos a interferência (GREENSTEIN; ZAJONC, 1997, p. 159, grifos do autor, tradução nossa)²⁷.

Diferentemente de uma interferência, macroscopicamente, observaríamos, no caso dos estados do gato, um conjunto de subsistemas (*ensemble*) nos informando sobre se ele está vivo ou não. Essa característica é denominada de mistura, descrita a partir das somas dos estados prováveis observados na medição. Enquanto a interferência se relaciona com a superposição de estados, a mistura é uma característica da redução de estado do sistema.

A superposição de estados, que acontece de maneira natural, sem interferência de nenhum observador, é uma descrição quântica do sistema; já a mistura é uma representação clássica desse mesmo sistema, depois de se medir e observar as grandezas observáveis. Os estados vivo e morto se adequariam a uma descrição oferecida pela noção de mistura.

[...] Dizemos que um grupo de N partículas é descrito por uma mistura se N_1 delas estiver, na verdade, no estado ψ_1 e N_2 estiver no estado ψ_2 , na qual $N_1 + N_2 = N$. A mistura descreve um estado de cuja natureza não temos certeza. [...] O estado quântico de cada N partículas é definitivamente ψ_1 ou ψ_2 , mas, por acaso, não sabemos qual (GREENSTEIN; ZAJONC, 1997, pp. 159-160, tradução nossa)²⁸.

Balsas (2013) diferencia dois tipos de mistura - as próprias e as impróprias. De acordo com a teoria da medida de Von Neumann, quando o estado do sistema pode ser descrito totalmente, diz-se que essa é uma mistura própria, mas, quando o estado é reduzido, trata-se de uma mistura imprópria ou estatística. Em termos matemáticos, consideremos os subespaços de Hilbert \mathcal{H}_1 e \mathcal{H}_2 , em que, se o estado do sistema se

²⁷ A clue to the correct statement of the cat paradox can be found in one of the macroscopic examples we gave above: the baseball, which, when thrown through a wall pierced by two windows, passes through one or the other but never both. But electrons can perfectly well pass through two windows at once! The phenomenon of interference demonstrates this fact. [...] Recall that, if we were to directly observe the path of each electron, we would observe it passing through one or the other of the two slits – just as, when we observe the cat, we find it either living or dead – and in this circumstance, no interference pattern will appear. But if we choose *not* to observe the electron's path, we do obtain interference (GREENSTEIN; ZAJONC, 1997, p. 159).

²⁸ [...] We that a group of N particles is described by a mixture if N_1 of them are actually in the state $\psi(x_1)$ and N_2 of them are actually in the state $\psi(x_2)$, where $N_1 + N_2 = N$. The mixture describes a state of whose nature we are unsure. [...] The quantum state of each of the N particles is definitely ψ_1 or ψ_2 , but we do not happen to know which (GREENSTEIN; ZAJONC, 1997, pp. 159-160).

referir ao espaço total $\mathcal{H}_1 \otimes \mathcal{H}_2$, teremos o primeiro caso de mistura, porém, se ele se relacionar apenas com um dos subespaços, teremos o segundo caso.

Na realidade quântica, considerando processos de medição sobre o sistema em questão, devemos pensar em misturas impróprias, o que nos diz que não se pode considerar uma sobreposição linear de estados do tipo da Equação (17), caracterizada como um estado puro (BALSAS S. J., 2013). No entanto, quando consideramos casos em que a Equação (17) é válida, entendemos que uma sobreposição linear é transferida para o aparelho de medição, correlacionando ou emaranhando o objeto medido a tal aparelho.

$$|\psi\rangle = \sum_i c_i |a_i\rangle \otimes |\phi_i\rangle \quad (17)$$

Não podemos comparar um gato com uma partícula subatômica, porque os efeitos observados em cada um deles serão diferentes e deverão ser explicados diferentemente. Isso não invalida as leis da MQ para objetos macroscópicos, pois, se pensarmos em seus comprimentos de onda, podemos observar que essas leis se aplicariam a um gato, mas isso mostraria que, por natureza, a descrição mais adequada dar-se-ia em termos de misturas.

O conceito de tunelamento quântico se aplica a casos que se referem a objetos de grandes proporções presos a certo potencial, movendo-se em vai-e-vem e com uma probabilidade muito pequena de escapar desse potencial, o que seria diferente em casos com partículas. “Assim, concluímos que o tunelamento quântico, assim como a interferência e o princípio de incerteza, desempenha um grande papel no micromundo, mas nenhum papel apreciável no mundo de larga escala” (GREENSTEIN; ZAJONC, 1997, p. 165, tradução nossa)²⁹.

A interação do objeto medido com o ambiente ao seu redor provoca mudanças no que se observa dele. As modificações sofridas por esses ambientes interferem no sistema investigado e transformam estados puros de superposição em misturas. Isso é o que aconteceria ao gato de Schrödinger, assim como nos diz a noção de decoerência quântica.

²⁹ Thus we conclude that quantum tunneling, like interference and the uncertainty principle, plays a great role in the microworld, but no appreciable role at all in the large-scale world (GREENSTEIN; ZAJONC, 1997, p. 165).

Outro elemento essencial da noção de decoerência é que ela é, até certo ponto, uma ilusão. O sistema total é constituído de *ambos*, o gato e seu ambiente – e esse sistema total é, verdadeiramente, um estado de superposição. Mas, quando pensamos no gato, estamos meramente pensando na parte do sistema total e ela é efetivamente descrita por uma mistura. Nesse sentido, a noção de decoerência não invalida o princípio geral de que a mecânica quântica se aplica a todas as coisas, grandes bem como pequenas (GREENSTEIN; ZAJONC, 1997, p. 166, grifos do autor, tradução nossa)³⁰.

A maneira mais adequada de se analisar um caso como o do gato de Schrödinger é pensar em termos dos conceitos de tunelamento quântico e decoerência, pois, nessa ordem de grandeza, não podemos desprezar qualquer interação que haja entre o objeto medido, o aparelho de medição e o ambiente e os efeitos causados por qualquer observação. Sendo assim, alinhamo-nos à interpretação de que há uma transição de efeitos de interferência, quânticos, por assim dizer, para clássicos, discretos ou corpusculares.

3.4 A desigualdade de Bell e a completude da Mecânica Quântica

Como tentativa de contornar o colapso da função de onda, foi sugerido que os sistemas quânticos teriam propriedades que forneceria uma justificção para os resultados obtidos a partir das medições. Essas características - não observáveis - foram chamadas de Variáveis Ocultas e carregariam informações elementares de partes do sistema total. Essa descrição foi denominada de Teoria Realista Local da MQ. No entanto, como veremos nesta seção, o Teorema de Bell, publicado em 1964, demonstra que não é possível descrever os sistemas quânticos com base nas variáveis que se “revelam” após a realização de medições sobre o sistema. Esse teorema se contrapõe à ideia de que as medições, numa parte do sistema, não alteram a outra (localidade do fenômeno) e que o resultado da medida sempre existiu (preceito do realismo).

O teorema de Bell diz, portanto, que, entre esses modelos baseados em camadas profundas, chamadas também de *teorias realistas locais*, e a mecânica quântica, existe uma contradição. Essas teorias se chamam “locais” porque justamente as propriedades de cada um dos dois sistemas só dependem

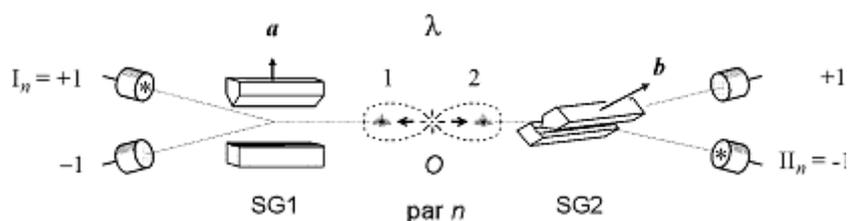
³⁰ A further essential element of the notion of decoherence is that it is to some degree an illusion. The total system consists of *both* the cat *and* its environment – and this total system is truly in a superposition state. But when we think about the cat, we are thinking of merely part of the total system, and this part is effectively described by a mixture. In this way, the notion of decoherence does not invalidate the general principle that quantum mechanics applies to all things, big as well as little (GREENSTEIN; ZAJONC, 1997, p. 166).

do que acontece com esse sistema, de qual medição é efetuada nele; logo, dependem de como ele é influenciado localmente por seu ambiente. A propriedade observada é independente de qual medição é efetuada em outro sistema. Essas teorias se chamam “realistas” porque os resultados de observações são atribuídos a propriedades reais que os sistemas carregam (ZEILINGER, 2005, p. 96, grifos do autor).

Ressalte-se, contudo, que esse teorema ou Desigualdade de Bell, como também é conhecido, surgiu para verificar a validade de Teorias de Variáveis Ocultas (TVOs), considerando as propriedades não observadas inerentes aos sistemas investigados. A violação dessa desigualdade nos diz que as TVOs não podem ser consideradas como uma descrição plausível do sistema quântico, portanto, a teoria quântica não pode ser explicada por meio dessas variáveis.

A Figura 1 apresenta a montagem experimental utilizada para testar as hipóteses da Desigualdade de Bell encontrada em Pessoa Jr. (2006). No aparelho de Stern-Gerlach, são definidas direções por meio das quais os ímãs se orientam, um em relação ao outro. No experimento, Alice e Bob (personagens fictícios) devem informar quais são as medidas observadas em cada lado do analisador.

Figura 1 – Arranjo experimental para testar o teorema de Bell com ímãs de Stern-Gerlach



Fonte: Pessoa Jr. (2006, p. 12).

O teorema prevê uma série de três experimentos conduzidos de Alice e Bob. No primeiro experimento, Alice orienta o seu analisador ao longo de \hat{a} , Bob ao longo de \hat{b} , e eles medem $E_{EXP}(\hat{a}, \hat{b})$. No segundo, Bob rotaciona seu analisador para algum novo eixo \hat{c} , Alice deixa o seu intocado e eles determinam $E_{EXP}(\hat{a}, \hat{c})$. Finalmente, Alice rotaciona o seu analisador para \hat{b} e eles determinam $E_{EXP}(\hat{b}, \hat{c})$ (GREENSTEIN; ZAJONC, 1997, p. 122, tradução nossa)³¹.

³¹ The theorem envisages a series of three experiments conducted by Alice and Bob. In the first, Alice orients her analyzer along \hat{a} , Bob along \hat{b} , and they measure $E_{EXP}(\hat{a}, \hat{b})$. In the second, Bob rotates his analyzer to some new axis \hat{c} , Alice leaves hers untouched, and they determine $E_{EXP}(\hat{a}, \hat{c})$. Finally, Alice rotates her analyzer to \hat{b} , and they determine $E_{EXP}(\hat{b}, \hat{c})$ (GREENSTEIN; ZAJONC, 1997, p. 122).

De acordo com a prova do Teorema de Bell, a Equação (18) apresenta a desigualdade, à qual os valores esperados pela medição obedecem, considerando a previsão da Equação (19) da MQ para as variáveis ocultas. Se admitirmos que as orientações são iguais nos três experimentos (ou seja, os vetores unitários dos analisadores sendo $\hat{a} = \hat{b} = \hat{c}$) teremos, a partir da Equação 19, $E_{QM}(\hat{a}, \hat{a}) = -1$.

$$|E_{HV}(\hat{a}, \hat{b}) - E_{HV}(\hat{a}, \hat{c})| \leq 1 + E_{HV}(\hat{b}, \hat{c}) \quad (18)$$

$$E_{QM}(\hat{a}, \hat{b}) = -\hat{a} \cdot \hat{b} = -\cos(\phi) \quad (19)$$

A configuração sugerida resulta em $|(-1) - (-1)| \leq 1 + (-1)$, que resulta em $|0| \leq 0$. Esse achado garante a desigualdade de Bell e sustenta TVOs, apenas se os vetores unitários forem iguais. Todavia, se escolhermos orientações distintas das primeiras, como sugerido por Greenstein e Zajonc (1997), assumindo que \hat{a} faz um ângulo de 60° com \hat{b} , \hat{b} faz um ângulo de 60° com \hat{c} ; os produtos entre os vetores serão $\hat{a} \cdot \hat{b} = \hat{b} \cdot \hat{c} = \frac{1}{2}$ e $\hat{a} \cdot \hat{c} = -\frac{1}{2}$.

Para essa nova configuração dos ímãs do aparelho de *Stern-Gerlach*, a desigualdade não se sustenta, o que resulta nas igualdades das equações (20) e (21). Os resultados expressos abaixo não são iguais para as condições pré-estabelecidas. Isso nos diz que a MQ não pode ser explicada a partir de TVOs, o que lhe confere uma qualidade de incompletude.

$$|E_{QM}(\hat{a}, \hat{b}) - E_{QM}(\hat{a}, \hat{c})| = \left| \left(-\frac{1}{2}\right) - \left(\frac{1}{2}\right) \right| = 1 \quad (20)$$

$$1 + E_{HV}(\hat{b}, \hat{c}) = 1 + \left(-\frac{1}{2}\right) = \frac{1}{2} \quad (21)$$

A partir disso, extraímos duas conclusões. Primeiro, o Teorema de Bell mostra que nenhuma teoria de variável oculta local pode reproduzir todas as previsões da mecânica quântica. Assim, o programa de pesquisa para uma teoria de variável oculta, “subjacente” da mecânica quântica, nunca terá sucesso. Segundo, como podem ser encontradas situações experimentais nas quais as previsões da teoria quântica diferem das de qualquer teoria de variável oculta, agora é possível realizar um experimento para distinguir entre as duas (GREENSTEIN; ZAJONC, 1997, p. 123, tradução nossa)³².

³² From this we draw two conclusions. First, Bell’s theorem shows that no local hidden-variable theory can reproduce all the predictions of quantum mechanics. Thus the program of searching for a local hidden-variable theory “underlying” quantum mechanics will never succeed. Second, since experimental situations can be found in which the predictions of quantum theory differ from those of any hidden-

Assim, além de apresentar a impossibilidade de TVOs servirem como complemento nas descrições da MQ, o Teorema de Bell se mostrou como uma importante ferramenta para distinguir as teorias que são capazes de descrever os sistemas quânticos investigados e as que não podem desempenhar o mesmo papel.

variable theory, it is now possible actually to perform an experiment to distinguish between two (GREENSTEIN; ZAJONC, 1997, p. 123).

4 INTERPRETAÇÃO DO DEBATE SOBRE A COMPLETUDE DA MECÂNICA QUÂNTICA

As conclusões sobre a completude da MQ expressas por EPR não se sustentam por razões contidas em seu critério de realidade, como argumentou Bohr. Se para a descrever completamente um sistema, devem-se evitar perturbações no sistema investigado, o argumento de EPR falhou nesse ponto e encontrou resistência em Bohr, apesar de a resposta não ter sido bem aceita por uma parcela dos cientistas na época.

Críticos de Bohr, assim como de Broglie, Bohm, Prosser, Schrödinger, Wheeler, dentre outros, consideraram sua resposta complicada e difícil de ser associada à Física comumente praticada até então (BROWN, 1981). Para Brown, Bohr só apresentava regras linguísticas a respeito dos fenômenos quânticos. Essa pode ter sido uma das razões para que sua defesa não tivesse encontrado muitos adeptos até então.

Os princípios de Bohr fornecem, em última análise, apenas regras lingüísticas de restrição, para o uso de um conjunto de conceitos físicos “convencionais” (i.e. clássicos) de uma forma que evita a inconsistência. Para Bohr, os problemas de linguagem na física eram, aparentemente, mais significativos do que as questões em relação aos contornos da realidade objetiva. Petersen recorda a seguinte declaração de Bohr: “Não há um mundo quântico. Há apenas uma descrição mecânica quântica abstrata. É errado pensar que a tarefa da física é descobrir como é a natureza. A física trata do que podemos dizer sobre a natureza.” (BROWN, 1981, p. 76, grifos do autor).

No artigo de Brassard e Méthod (2006), encontramos uma análise dos argumentos de EPR dividida em três partes: A Linguagem Lógica, subdivida em: Primeira proposição, Segunda proposição e Tautologia; o *Spukhafte Fernwirkungen* (em tradução livre, Efeitos Remotos Assustadores, que se refere às ações a distância) e a Resposta de Bohr. Além dos posicionamentos desses autores, traremos os argumentos de Balsas (2013) sobre as considerações contrárias a EPR.

Para as primeiras análises, os autores apresentam duas definições, duas afirmações e três citações de EPR, a saber:

Definição 1 (Completude). *Todo elemento de realidade física deve ter uma contrapartida na teoria física.*

[...]

Definição 2 (Realidade física). Se, sem perturbar de alguma maneira um sistema, pudermos predizer com certeza o valor de uma grandeza física (isto é,

com probabilidade igual à unidade), então existe um elemento de realidade física correspondente a essa grandeza.

[...]

Afirmção A. A descrição da mecânica quântica da realidade não é completa.

Afirmção B. Operadores não-comutativos não podem ter realidades simultâneas.

[...]

(a) ou (1) a descrição da mecânica quântica da realidade, dada pela função de onda, não é completa ou (2) quando os operadores, correspondentes às duas grandezas físicas, não comutarem as duas grandezas não podem ter realidades simultâneas.

(b) Na mecânica quântica geralmente se assume que a função de onda contém uma descrição completa da realidade do sistema, no estado para o qual corresponde. [...] Vamos mostrar, no entanto, que essa suposição, junta com o critério de realidade dado acima, leva a uma contradição.

[...]

(c) Começando, então, pela suposição de que a função de onda dá uma descrição completa da realidade física, chegamos à conclusão que as grandezas físicas, com operadores não-comutativos, podem ter realidades simultâneas.

[...] Somos, assim, forçados a concluir que a descrição da mecânica da realidade física, dada pelas funções de onda, não é completa (BRASSARD; MÉTHOD, 2006, p. 4-5, grifos do autor, tradução nossa)³³.

Nas citações (a), (b) e (c), os autores analisaram as afirmações A e B. De acordo com a Linguagem Lógica, (a) corresponde a $A \oplus B$ (1), ou seja, ou A ou B é verdadeiro, e não, ambos; (b) corresponde a $\neg A \wedge B \Rightarrow \text{falsidade}$, $\neg A \Rightarrow \neg B$ (2), ou seja, a falsidade de A ou de B produz uma falsidade mútua; (c) corresponde à tautologia lógica $(1) \wedge (2) \Rightarrow A$, ou $(A \oplus B) \wedge (\neg A \Rightarrow \neg B) \Rightarrow A$ (3).

A primeira suposição diz respeito à questão levantada a partir da citação (a). Quanto à interpretação para sua representação lógico-matemática, teríamos duas situações, a saber: se a afirmação B for falsa, a descrição da realidade dada pela Mecânica Quântica será completa ($\neg B \Rightarrow A$), e se a afirmação A for falsa, as grandezas

³³ **Definition 1** (Completeness). *Every element of the physical reality must have a counterpart in the physical theory. [...]* **Definition 2** (Physical reality). *If, without in any way disturbing a system, we can predict with certainty (i.e., with probability equal to unity) the value of a physical quantity, then there exists an element of physical reality corresponding to this physical quantity. **Statement A.** Quantum mechanical description of reality is not complete. **Statement B.** Non-commuting operators cannot have simultaneous reality. (a) either (1) the quantum-mechanical description of reality given by the wave function is not complete or (2) when operators corresponding to two physical quantities do not commute the two quantities cannot have simultaneous reality. (b) In quantum mechanics it is usually assumed that the wave function does contain a complete description of the physical reality of the system in the state to which it corresponds. [...] We shall show, however, that this assumption, together with the criterion of reality given above, leads to a contradiction. [...] (c) Starting then with the assumption that the wave function does give a complete description of the physical reality, we arrived at the conclusion that two physical quantities, with noncommuting operators, can have simultaneous reality. [...] We are thus forced to conclude that the quantummechanical description of physical reality given by wave functions is not complete (BRASSARD; MÉTHOD, 2006, p. 4-5).*

físicas terão realidades simultâneas ($\neg A \Rightarrow B$). A partir dessas relações lógicas, pondera-se que não haveria uma situação como $A \oplus B$ (as duas situações existiriam, mas não simultaneamente), mas haveria $A \wedge B$ (só haveria uma situação).

Essas considerações de EPR se sustentam no “critério de realidade”, pois uma teoria ou descrição é completa quando consegue descrever a realidade a partir de todos os seus elementos. Essa descrição deve possibilitar a medição ou a observação de todas as grandezas envolvidas num fenômeno. Na Mecânica Quântica, não é possível medir simultaneamente as grandezas, porque a medição de uma delas “destrói” a da outra, o que leva à segunda suposição, ou seja, (b) $\neg A \Rightarrow \neg B$.

Ainda sobre a segunda suposição, EPR falam da capacidade de medição e do momento ou da posição de uma partícula a partir de físicos hipotéticos - *Alice* e *Bob* - cada um observando estados emaranhados bipartidos e afirmando que uma medição de um dos estados por um deles daria condição de predizer, com certeza, as informações do outro estado sem perturbar o sistema de alguma forma.

Essas suposições são feitas a partir de argumentos contrafactuais, ou seja, situações que não aconteceram de fato. Além disso, a argumentação de EPR se encaminha para $\neg B$, sem ao menos fazer a $\neg A$, o que pode ter sido o principal objetivo observado nessa citação. Desse modo, a atenção prestada por EPR a essa afirmação estava na “exatidão” da Mecânica Quântica das observações e predições.

A proposição (3), consequência da citação (c), é um resultado de uma tautologia, de raciocínios retóricos, que pode ser reorganizada de acordo com o que se expôs anteriormente, o que resultou em $(A \wedge B) \wedge (\neg A \Rightarrow \neg B) \Rightarrow A$ (5), que também é tautológica. Mesmo na proposição (5), não se fez uma abordagem da $\neg A$, mas se abordou diretamente $\neg B$, pressupondo que a Mecânica Quântica era *correta*. Podemos dizer que foi criado um raciocínio retórico, porquanto teríamos *A* ou *B* verdadeira, implicando na veracidade de *A*, já que as considerações de EPR indicavam que as grandezas físicas podem ter realidades simultâneas.

Consideremos a seguinte citação, para o caso *Spukhafte Fernwirkungen*:

Podemos, então, calcular com a ajuda da equação de Schrödinger o estado do sistema combinado [...]. Não podemos, no entanto, calcular o estado em que um dos dois sistemas é deixado depois da interação. Isso pode ser feito,

de acordo com a mecânica quântica, apenas com a ajuda de medições adicionais, por um processo conhecido como *redução do pacote de onda* completa (BRASSARD; MÉTHOD, 2006, p. 9, grifos do autor, tradução nossa)³⁴.

A medição de um dos sistemas pode ser feita por meio de um esboço parcial (estado completamente misturado), o que, para Einstein, não é aceitável, porque apenas estados puros são aceitos em sua argumentação. Ele considerou que, depois que os sistemas interagem e ficam espacialmente separados, nenhuma medição em um dos sistemas afeta o outro. Só quando se comunica a medição é que pode haver alguma interferência no conhecimento do estado do outro sistema.

Para que houvesse uma comunicação simultânea das medições em um dos sistemas, a informação deveria acontecer a uma velocidade maior do que a da luz, e isso estaria, claramente, violando o princípio da Relatividade Restrita de que nada tem uma velocidade maior do que a da luz na natureza. A partir de um ponto de vista epistemológico, os estados puros podem ser vistos de maneira ôntica, pressupondo sua existência física ou real.

Na resposta de Bohr, dificilmente se abordou o problema do emaranhamento, mas se focou na questão da complementaridade do fenômeno descrito por EPR. Ele entende que, quando medimos o momento ou a posição de uma partícula, temos uma escolha livre para conhecer uma das grandezas. Conseqüentemente, perdemos a chance de conhecer a outra grandeza. Essas grandezas são complementares, ou seja, fazem parte do mesmo sistema ou partícula, mas não poderemos conhecê-las simultaneamente nem mesmo através de medições. A citação seguinte resume o argumento de Bohr.

De fato, a renúncia em cada arranjo experimental, de um ou de outro de dois aspectos da descrição dos fenômenos físicos – a combinação do que caracteriza o método da física clássica e que, nesse sentido, pode ser considerado como *complementar* ao outro –, depende essencialmente da impossibilidade, no campo da teoria quântica, de controlar precisamente a reação do objeto nos instrumentos de medição, isto é, a transferência do momento em caso de medições de posição e o deslocamento em caso de medições de momento (BRASSARD; MÉTHOD, 2006, p. 10, grifos do autor, tradução nossa)³⁵.

³⁴ We can then calculate with the help of Schrödinger's equation the state of the combined system [...]. We cannot, however, calculate the state in which either one of the two systems is left after the interaction. This, according to quantum mechanics, can be done only with the help of further measurements, by a process know (sic) as the *reduction of the wave packet* (BRASSARD; MÉTHOD, 2006, p. 9).

³⁵ In fact, the renunciation in each experimental arrangement of the one or the other of two aspects of the description of physical phenomena, – the combination of which characterizes the method of classical physics, and which therefore in this sense may be considered as *complementary* to one another, – depends essentially on the impossibility, in the field of quantum theory, of accurately controlling the reaction of the object on the measuring instruments, i.e., the transfer of momentum in case of position

Nesse ponto, pondera-se que Bohr (1935) não abordou a questão principal levantada por EPR, mas se referiu à realidade física das grandezas observadas nos sistemas ou partículas invocada pelo critério de realidade. O âmago da questão da completude tratada por EPR residiu na descrição física dos fenômenos pelas teorias, devendo dar liberdade a uma descrição completa, ou seja, a capacidade de conhecer todos os elementos de realidade envolvidos na observação.

A base da defesa de Bohr centrou-se nas questões da complementaridade, o que comprova que existem grandezas correlacionadas à natureza que não têm existências simultâneas. A abrangência da complementaridade também se aplicava às descrições clássica e quântica. O experimento mental idealizado por Bohr tem aparelhos clássicos que medem as interações com partículas quânticas.

Como positivista, Bohr (1935) acreditava na experimentação como via de construção de narrativas teóricas para os fenômenos observáveis. Desse modo, podemos pensar em complicações teóricas pela falta de uma diferenciação nas eras clássica e quântica. Além disso, sua resposta não levou em conta uma teoria da medida mais bem definida nem como esses elementos de diferentes naturezas interfeririam nos resultados das medições.

Outra questão que não foi bem explorada é o fato de ocorrerem as reduções de estado devido às medições sobre o sistema. Por causa de influências do pensamento neokantiano, Bohr (1935) acreditava na influência da consciência humana como possível perturbadora do sistema, o que levou alguns cientistas a interpretar sua abordagem como subjetivista, ou seja, a natureza exibiria um comportamento condizente com nossas ações sobre ela.

Contra o subjetivismo existe uma interpretação objetivista da natureza, segundo a qual os fenômenos seriam produzidos por entidades responsáveis pelas causas do que observamos e, nesses termos, o papel da Ciência seria de “descobri-los”. Contudo, Bohr (1935) era contrário à ideia ontológica da MQ. Portanto, ao observar a natureza, não enxergamos elementos reais, mas probabilidades do que pode existir.

Podemos enxergar, na teoria bohriniana, uma posição instrumentalista que revelando que suas crenças sobre a descrição física da natureza eram artifícios matemáticos para elaborar uma explicação. Sob seu ponto de vista, a função de onda tinha

measurements, and the displacement in case of momentum measurements (BRASSARD; MÉTHOD, 2006, p. 10).

a mesma qualidade, e sua função não era de revelar a realidade, mas de dar suporte aos relatos teóricos.

Pensar numa descrição quântica dos sistemas significava estabelecer um limite entre campos teóricos distintos, o clássico e o quântico. Foi a partir de Von Neumann que se estabeleceu a formalização de uma teoria de medida e se pensou numa distinção clara entre os domínios macro e micro da natureza.

5 METODOLOGIA

Ao se empreender uma pesquisa, algumas características podem definir qual tipo de investigação se realiza. De modo geral, existem dois tipos: a quantitativa, que se ocupa do tratamento estatístico dos dados partindo de um plano previamente fixado, e a qualitativa, que apresenta um tratamento mais interpretativo dos dados e, apesar de ter um planejamento, define-se no decorrer da investigação (KAUARK; MANNHÃES; MEDEIROS, 2010; NEVES, 1996). De acordo com os nossos propósitos, nossa investigação caracteriza-se como o segundo tipo aqui apresentado – a pesquisa qualitativa.

Primeiramente, devemos entender algumas diferenças que demarcam os sentidos de cada uma delas. Falando em termos das hipóteses, do problema de pesquisa, dos objetivos e da metodologia, somos capazes de saber qual tipo é o mais adequado para a investigação pretendida. Em linhas gerais, a pesquisa quantitativa expressa-se por um plano pré-estabelecido, objetivo e preocupado com a quantificação; já a qualitativa demonstra a preocupação com aspectos descritivos dos fenômenos investigados.

Em linhas gerais, num estudo quantitativo o pesquisador conduz seu trabalho a partir de um plano estabelecido *a priori*, com hipóteses claramente especificadas e variáveis operacionalmente definidas. Preocupa-se com a medição objetiva e a quantificação dos resultados. Busca a precisão, evitando distorções na etapa de análise e interpretação dos dados. [...] a pesquisa qualitativa não procura enumerar e/ou medir os eventos estudados, nem emprega instrumental estatístico na análise dos dados. Parte de questões ou focos de interesses amplos, que vão se definindo à medida que o estudo se desenvolve. Envolve a obtenção de dados descritivos sobre pessoas, lugares e processos interativos pelo contato direto do pesquisador com a situação estudada, procurando compreender os fenômenos segundo a perspectiva dos sujeitos, ou seja, dos participantes da situação em estudo (GODOY, 1995a, p. 58).

De acordo com a literatura especializada, a pesquisa qualitativa foi utilizada, inicialmente, pelas Ciências sociais, como a Antropologia e a Sociologia, a partir da metade do Século XIX, com estudos voltados para as questões sobre a relação entre a classe trabalhadora e seus patrões na Europa. Entre os anos de 1930 e 1960, houve uma queda na produção de trabalhos qualitativos, mas, por outro lado, houve avanços nos aspectos metodológicos desse tipo de pesquisa (GODOY, 1995).

A partir dos anos de 1960, a pesquisa qualitativa começou a instigar pesquisadores de áreas diferentes da Antropologia e da Sociologia e passou a ser utilizada no campo da Administração, por exemplo (GODOY, 1995). Ao lidar com problemas sociais, esse tipo de pesquisa se adéqua às questões relacionadas aos fenômenos educacionais, já que a Educação é elementos social e cultural.

A expressão “Ciências sociais” costuma ser usada para indicar as diferentes áreas do conhecimento que se preocupam com os fenômenos sociais, econômicos, políticos, psicológicos, culturais, educacionais, ou seja, aqueles que englobam relações de caráter humano e social. [...] Estamos aqui fazendo referência à pesquisa identificada como “qualitativa”, a qual, apesar de ter sido regularmente utilizada pelos antropólogos e sociólogos, só nos últimos trinta anos começou a ganhar um espaço reconhecido em outras áreas, como a psicologia, a educação e a administração de empresas (GODOY, 1995a, p. 58).

As pesquisas qualitativas compartilham algumas características comuns, apesar de terem aspectos próprios ligados às hipóteses, aos objetivos e ao problema de pesquisa. Em geral, esse tipo de pesquisa é utilizado quando a preocupação do pesquisador é de interpretar as mensagens (orais, escritas, iconográficas, dentre outras) advindas dos sujeitos pesquisados (CRESWELL, 2014; GODOY, 1995a, 1995b).

Além disso, preconiza-se que esse tipo de investigação deve ser realizado no *habitat* natural onde os fenômenos acontecem, observando-se a relação entre o conteúdo expresso pelos sujeitos e seu contexto de expressão, ou seja, o lugar social, percepção de formas de possíveis opressões, fatores econômicos, históricos e culturais etc. Como o pesquisador lida diretamente com esses elementos, ele é considerado a principal fonte de coleta de dados, mesmo que utilize questionários, formulários e/ou entrevistas para esse fim.

A palavra escrita ocupa lugar de destaque nessa abordagem, desempenhando um papel fundamental tanto no processo de obtenção dos dados quanto na disseminação dos resultados. [...] O ambiente e as pessoas nele inseridas devem ser olhados holisticamente: não são reduzidos a variáveis, mas observados como um todo.

Os pesquisadores qualitativos estão preocupados com o processo e não simplesmente com os resultados ou produto (GODOY, 1995a, p. 62-63).

As abordagens qualitativas se inscrevem no aspecto descritivo dos dados obtidos e, nesse sentido, preocupam-se com os sentidos atribuídos pelos participantes do estudo (CRESWELL, 2014), os quais integram grupos sociais, por vezes marginalizados e silenciados. Nesse contexto, o papel do pesquisador é de tornar públicos

esses discursos sufocados e democratizar os processos de pesquisa para além de análises puramente técnicas.

Creswell (2014), em seu livro, 'Investigação Qualitativa e Projeto de Pesquisa', além de falar do *habitat* natural, que tem o pesquisador como principal fonte de coleta de dados, enumera mais algumas características desse tipo de pesquisa: múltiplos métodos, raciocínio complexo por meio da lógica indutiva e dedutiva, significados dos participantes, projeto emergente (ou seja, a capacidade de flexibilidade que um projeto qualitativo tem) e reflexão e relatório holístico (relato de múltiplas versões acerca do problema investigado).

Podemos destacar a diversidade metodológica que a pesquisa qualitativa oferece, o que significa que o pesquisador tem a liberdade de escolher vários caminhos ao tentar responder o problema de pesquisa previamente elaborado. Nesse tipo de pesquisa, o interesse é mais no processo de execução do estudo do que no produto, ou seja, os passos tomados por seus autores (GODOY, 1995a; NEVES, 1996).

Os pesquisadores qualitativos reúnem múltiplas formas de dados, como entrevistas, observações e documentos, em vez de se basearem em uma única fonte de dados. A seguir examinam todos os dados e procuram entender o seu significado, organizando-os em categorias ou temas que perpassam todas as fontes de dados (CRESWELL, 2014, 51).

Nas abordagens qualitativas, podemos destacar alguns tipos de pesquisa, como o Estudo de Caso, a Etnografia, a Pesquisa Narrativa, a Teoria Fundamentada e, nas circunstâncias deste trabalho, a Pesquisa Documental, dentre outros. A depender do tipo de investigação adotado (Cf. CRESWELL, 2012), o pesquisador deverá seguir alguns preceitos éticos e tem que submeter sua proposta a um Conselho de Ética, a fim de preservar os participantes ao longo de todo o processo, especialmente, passos anteriores à coleta dos dados.

Quanto à pesquisa documental, é um tipo adequado, quando a principal fonte de dados são documentos em que não se fez nenhum tratamento propriamente científico e metodológico, procedimentos próprios dos processos de uma pesquisa (NEVES, 1996; KRIPKA, SCHELLER, BONOTTO, 2015). Qualquer formato de registro pode ser considerado um documento, como livros, revistas e jornais impressos ou *online*, documentação pública ou privada, entre outros.

[...] são considerados documentos quaisquer materiais escritos que possam ser usados como fonte de informação: leis e regulamentos, normas, pareceres, cartas, memorandos, diários pessoais, autobiografias, jornais, revistas, discursos, roteiros de programas de rádio e televisão até livros, estatísticas e arquivos escolares (KRIPKA, SCHELLER, BONOTTO, 2015, p. 59).

Como toda pesquisa, ao trabalhar com documentos, encontramos vantagens e desvantagens. Algumas vantagens é que esse tipo de fonte é considerado não reativo, ou seja, como não há interação direta com seus produtos, esses indivíduos não podem mudar seu comportamento. Os documentos também viabilizam o estudo de longos períodos de tempo, de acordo com a quantidade disponível para consulta (GODOY, 1995b; NEVES, 1996; KRIPKA, SCHELLER, BONOTTO, 2015).

Em se tratando do tempo, analisar longos períodos de tempo nos possibilita observar como alguns fenômenos sociais surgiram e evoluíram ao longo daquele recorte temporal considerado. Considera-se, também, que a pesquisa documental, como uma das abordagens qualitativas, garante a objetividade na análise. “A valorização do documento como garantia de objetividade, marca indelével dos historiadores positivistas, exclui a noção de intencionalidade contida na ação estudada e na ação do pesquisador, sendo esse processo construído historicamente” (SÁ-SILVA, ALMEIDA, GUINDANI, 2009, p. 7). Como contrapontos, Kripka, Scheller e Bonotto (2015, p. 71), referenciando Guba e Lincoln (1981), apontam que “os documentos são amostras não-representativas dos fenômenos estudados”, que podem apresentar “falta de objetividade e validade questionável” e “representam escolhas arbitrárias, de aspectos e temáticas a serem enfatizados”.

Nesse sentido, devemos ter em mente que os documentos são produzidos por seres humanos. Isso nos mostra que eles podem não ser uma representação da realidade, mas apresentar visões particulares que o seu produtor procurou registrar. Os documentos nem sempre são escritos com a mesma finalidade desejada pelo pesquisador, o que pode dificultar os processos de pré-análise e análise dos dados.

Embora tenha vantagens e desvantagens, a pesquisa documental não perde o seu valor nas abordagens qualitativas, tendo em vista a sua adequação a situações em que os documentos são as principais fontes de dados. Em vista disso, alinharmos a esse tipo de abordagem porque utilizamos os documentos como nossa principal fonte de dados, a saber: os livros-textos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) do Ensino Superior.

Aliada à pesquisa documental e, por assim dizer, à análise documental, encontramos recomendações da Análise de Conteúdo na literatura especializada (SÁ-SILVA, SCHELLER, BONOTTO, 2015; GODOY, 1995b) bem como nos estudos de Laurence Bardin e Lüdke e André, assim como em Bardin (2011). Tendo isso em vista, os documentos podem receber um tratamento mais detalhado e cuidadoso, ao se realizarem procedimentos como a organização da análise, a codificação, a categorização e a inferência.

5.1 Análise Documental e pesquisa em Ensino de Ciências

Numa pesquisa historiográfica, a Análise Documental pode apresentar-se de maneira vantajosa, ao se pensar nos documentos como fontes de dados não suscetíveis de serem contaminados pelas subjetividades do pesquisador ou pelas influências do seu tempo. Além disso, esse tipo de análise possibilita que o pesquisador faça um recorte temporal do objeto estudado, ou seja, “[...] favorece a observação do processo de maturação ou de evolução de indivíduos, grupos, conceitos, conhecimentos, comportamentos, mentalidades, práticas, etc., bem como o de sua gênese até os nossos dias” (CELLARD, 2012, p. 295).

No plano metodológico, a Análise Documental apresenta também algumas vantagens significativas. [...] trata-se de um método de coleta de dados que elimina, ao menos em parte, a eventualidade de qualquer influência – a ser exercida pela presença ou intervenção do pesquisador – do conjunto das interações, acontecimentos ou comportamentos pesquisados, anulando a possibilidade de reação do sujeito à operação de medida (CELLARD, 2012, p. 295).

A Análise Documental aplica-se tanto a documentos públicos quanto privados, a depender dos lugares onde estão arquivados. Documentos públicos podem ser de acesso restrito ou livre e classificados como não arquivados. Já o acesso aos privados é mais limitado do que os públicos e compreendem desde documentos de partidos políticos até documentação de caráter pessoal (CELLARD, 2012).

Em nossa pesquisa, consideramos os livros-textos de Física, especificamente os de Física Moderna e Contemporânea (FMC) que abordem o Paradoxo EPR, como Documentos Públicos – “Os documentos públicos não arquivados: eles incluem, entre

outros, os jornais, revistas, periódicos e qualquer outro tipo de documentos distribuídos: publicidade, anúncios, tratados, circulares, boletins paroquiais, anuários telefônicos, etc.” (CELLARD, 2012, 297).

Assim como seus sujeitos produtores, os documentos analisados serão considerados pertencentes a um contexto cultural, social e econômico, historicamente definido. “[...] para compreender o processo, é necessário olhar para o objeto de estudo como um produto construído ao longo da história documental do homem e, por isso, desenvolvido a partir de domínios ou ambiências de produção e uso” (NASCIMENTO, 2009, p. 25).

Nesse sentido, nossa análise considera diversos elementos que influenciam a produção desses documentos, do mesmo modo que os seus sujeitos não podem se desvincular de tudo o que os caracteriza em um tempo-espaço de existência. Consideramos cinco Dimensões de Análise, expostas por Cellard (2012), para a análise preliminar dos documentos, discriminados no Quadro 3.

Quadro 3 – Caracterização das Dimensões de Análise para a análise preliminar dos documentos

Dimensões de Análise	Caracterização das Dimensões
O contexto	Diz respeito aos aspectos políticos, econômicos, sociais, culturais nos quais o autor (ou autores) se insere. “Tal conhecimento possibilita apreender os esquemas conceituais de seu ou de seus autores, compreender sua reação, identificar as pessoas, grupos sociais, locais, fatos aos quais se faz alusão, etc. Pela análise do contexto, o pesquisador se coloca em excelentes condições até para compreender as particularidades da forma, da organização, e, sobretudo, para evitar interpretar o conteúdo do documento em função de valores modernos” (p. 299-300).
O autor ou os autores	Identificar o autor pode nos ajudar a entender os motivos que o levaram a produzir determinado documento, assim como os seus interesses. “Elucidar a identidade do autor possibilita, portanto, avaliar melhor a credibilidade de um texto, a interpretação que é dada de alguns fatos, a tomada de posição que transparece de uma descrição, as deformações que puderam sobrevir na reconstituição de um acontecimento” (p. 300).
A autenticidade e a confiabilidade do texto	Trata-se de conhecer a procedência do documento para assegurar-se da informação nele apresentada. Desse modo, pode-se julgar se o documento é autêntico e confiável. “[...] é importante estar sempre atento à relação existente entre o autor ou os autores e o que eles descrevem” (p. 301).
A natureza do texto	Essa dimensão refere-se ao tipo de conteúdo que foi escrito e aos seus meios de difusão. Há uma distinção entre um relatório e uma carta para um familiar, pois são de naturezas distintas. “Efetivamente, a abertura do autor, os subentendidos, a estrutura de um texto podem variar enormemente, conforme o contexto no qual ele é redigido. É o caso, entre

Os conceitos-chave e a lógica interna do texto

outros, de documentos de natureza teológica, médica, ou jurídica, que são estruturados de forma diferente e só adquirem um sentido para o leitor em função de seu grau de iniciação no contexto particular de sua produção” (p. 302).

Esse aspecto é relevante porque o pesquisador pode compreender os sentidos de palavras ou expressões com certa relevância na redação do documento. Assim, a evolução histórica de conceitos e o emprego de jargões podem ser facilmente caracterizados. Ainda relacionado a esse aspecto, a lógica interna nos guia para compreender o papel desses conceitos-chave no documento.

Fonte: Elaborado pelo autor - Adaptado de Cellard (2012).

Uma vez realizada essa análise preliminar, categorias mais específicas podem ser elaboradas para a análise robusta dos documentos, a depender da metodologia complementar desejada, que tanto pode ser desde a análise do discurso quanto a de conteúdo. Sendo assim, esperamos ter feito uma análise mais justa por considerar os aspectos caracterizados e a relação com a produção dos documentos escolhidos para essa finalidade.

Esses documentos nos possibilitam observar aspectos socioculturais que permeiam suas produções por seus autores, assim como o desenvolvimento dos conhecimentos a partir da evolução temporal, desde os princípios até as versões contemporâneas do estado de um conhecimento qualquer. Desse modo, esses livros-textos de FMC puderam nos revelar mais do que os seus conteúdos informam, porquanto estabelecemos uma análise apropriada e criteriosa.

5.2 A Análise Documental através da Análise de Conteúdo

Entendemos que analisar é um processo de divisão de um todo em partes menores, quanto possível for, e observá-las com base em teorias apropriadas ao estudo pretendido, às hipóteses, aos objetivos e a outros elementos do projeto de pesquisa. Na Análise Documental, o papel da Análise de Conteúdo deve ser de nos levar a enxergar essas pequenas partes das mensagens documentadas e compreendê-las para além das palavras nelas contidas.

Bardin (2011) inscreve a Análise de Conteúdo como a capacidade de desvendar as mensagens ocultas ou latentes contidas nos discursos de quem as produziu. Nesse sentido, o trabalho do pesquisador visa compreender o que motivou os sujeitos a criarem esses discursos, inserindo-os em seus contextos político, histórico, econômico, ético, dentre outros.

Absolve e cauciona o investigador por essa atração pelo escondido, o latente, o não aparente, o potencial de inédito (do não dito), retido por qualquer mensagem. Tarefa paciente de “desocultação”, responde a essa atitude de *voyeur* de que o analista não ousa confessar-se e justifica a sua preocupação, honesta, de rigor científico (BARDIN, 2011, p. 15, grifos do autor).

Ao empregar a Análise de Conteúdo, o pesquisador sai de uma posição contemplativa e passa a observar seu objeto de estudo, em seu *habitat* natural dos fenômenos, do ponto de vista metodológico mais crítico. A palavra de ordem é a “desconfiança” do que se revela pelas aparências, criticando-se o que parece ser simples e fácil de deduzir (BARDIN, 2011).

De maneira geral, pode dizer-se que a sutileza dos métodos de análise de conteúdo corresponde aos seguintes objetivos:

A superação da incerteza: o que eu julgo ver na mensagem estará lá efetivamente contido, podendo essa “visão” muito pessoal ser partilhada por outros? Por outras palavras, será a minha leitura válida e generalizável?

E o *enriquecimento* da leitura: se um olhar imediato, espontâneo, é já fecundo, não poderá uma leitura atenta aumentar a produtividade e a pertinência? Pela descoberta de conteúdos e de estruturas que confirmam (ou infirmam) o que se procura demonstrar a propósito das mensagens, ou pelo esclarecimento de elementos de significações suscetíveis de conduzir a uma descrição de mecanismos de que *a priori* não possuíamos a compreensão (BARDIN, 2011, p. 35, grifos do autor).

Bardin (2011) organiza a Análise de Conteúdo em três estágios: (i) a pré-análise, (ii) a exploração do material e (iii) o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação. Essas etapas demarcam o trabalho de pesquisa desde o levantamento do material a ser analisado, leituras prévias e detalhadas, até a análise propriamente dita. O Quadro 4 apresenta as descrições feitas por Bardin (2011) de cada uma delas.

Quadro 4 – Caracterização das etapas da Análise de Conteúdo

Etapa	Caracterização das etapas
Pré-análise	“É a fase de organização propriamente dita. Corresponde a um período de intuições, mas tem por objetivo tornar operacionais e sistematizar as ideias iniciais, de maneira a conduzir a um esquema preciso do desenvolvimento das operações sucessivas, num plano de análise” (p. 125). Nessa etapa também se pode realizar (a) a <i>leitura “flutuante”</i> , (b) a <i>escolha dos documentos</i> , (c) a <i>formulação das hipóteses e dos objetivos</i> , (d) a <i>referenciação dos índices e a elaboração dos indicadores</i> e (e) a <i>preparação do material</i> .
Exploração do material	“Essa fase, longa e fastidiosa, consiste essencialmente em operações de codificação, decomposição ou enumeração, em função de regras previamente formuladas” (p. 131).
Tratamento dos resultados, inferência e interpretação	“Os resultados brutos são tratados de maneira a serem significativos (“falantes”) e válidos. Operações estatísticas simples (percentagens), ou mais complexas (análise fatorial),

permitem estabelecer quadros de resultados, diagramas, figuras e modelos, os quais condensam e põem em relevo as informações fornecidas pela análise.

[...]

O analista, tendo à sua disposição resultados significativos e fiéis, pode então propor inferências e adiantar interpretações a propósito dos objetivos previstos – ou que digam respeito a outras descobertas inesperadas” (p. 131).

Fonte: Elaborado pelo autor - Adaptado de Bardin (2011).

Ainda na pré-análise, Bardin (2011) recomenda as seguintes regras para a escolha dos documentos: a Regra da exaustividade, a Regra da representatividade, a Regra da homogeneidade e a Regra da pertinência. Essa etapa acontece de maneira mais imparcial e neutraliza a tendência de arbitrariedade do pesquisador ao selecionar o material a ser analisado.

A preparação do texto bruto para ser analisado nos leva a um processo de codificação, por meio de recortes e da organização dos fragmentos de texto - “A codificação corresponde a uma transformação – efetuada segundo regras precisas – dos dados brutos do texto, transformação essa que, por recorte, agregação e enumeração, permite atingir uma representação do conteúdo ou da sua expressão” (BARDIN, 2011, p. 133, grifos do autor).

A codificação leva em consideração dois tipos de unidade: a unidade de registro e a de contexto. A unidade de registro relaciona-se a elementos repetitivos no conteúdo dos discursos analisados e divide-se em palavra, tema, objeto ou referente, personagem, acontecimento e documento; a unidade de contexto é mais geral e serve de sentido para a unidade de registro (Cf. BARDIN, 2011). O Quadro 5 apresenta essas unidades baseadas nos capítulos 2, 3 e 4 e na exploração do material de análise.

Quadro 5 – Caracterização das categorias e subcategorias de análise e das unidades de registro e de contexto

Categorias	Subcategorias	Unidades de contexto/Unidades de registro
Monumentalidade	Ineditismo; Heroísmo; Altruísmo; Genialidade.	As unidades de contexto são trechos extraídos dos documentos analisados, já as de registro são apresentadas em destaques de negrito nas próprias unidades de contexto.
Idealização	Simplificação; Êxitos; Generalização; Cronologias.	
Drama afetivo	Polarização; Emoção; Discurso de Autoridade.	

Narrativa explicativa e de justificação	Sequenciamento; Finalidade.
--	-----------------------------

Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando a estrutura da Arquitetura Mítica (ALLCHIN, 2004) central para a análise dos documentos, consideramos cada elemento uma categoria, como mostra o Quadro 5. À medida que os documentos foram sendo explorados, percebemos que seria preciso, além de reconhecer similaridades nas mensagens, criar subcategorias, às quais agrupamos trechos com valores semânticos semelhantes. O Quadro 5 foi elaborado levando-se em conta a discussão sobre historiografia e pseudo-história e as leituras prévias (ou a pré-análise) do material analisado.

5.3 Procedimentos metodológicos da pesquisa

O planejamento e a execução desta pesquisa aconteceram em dois momentos: levantamento bibliográfico e revisão de literatura e a Análise Documental (livros-textos de FMC do Ensino Superior). Como se trata de uma pesquisa no campo da Historiografia da Ciência, no primeiro momento, também fizemos uma reconstrução histórica do episódio sobre o Paradoxo EPR e considerações sobre pseudo-história.

5.3.1 Levantamento bibliográfico, revisão de literatura e produção historiográfica

5.3.1.1 Levantamento bibliográfico

Na primeira etapa, foram levantadas bibliografias tanto para a construção do episódio histórico quanto para as considerações referentes às questões da pseudo-história, assim como para elaborar as demais seções, como, por exemplo, a da metodologia. A maior parte da literatura usada no episódio era estrangeira, principalmente textos escritos em língua inglesa; nos de língua portuguesa havia autores brasileiros, um português e algumas traduções.

A bibliografia principal era composta de artigos, parte deles compilada em livros, mais relativos ao episódio histórico. Outros artigos foram armazenados digitalmente e separados, representando a fonte secundária que versa sobre o Paradoxo EPR.

5.3.1.2 *Revisão de literatura*

Foram levantados, ainda, artigos, caracterizados como fonte secundária, debatendo a completude da MQ, assim como os equívocos cometidos por EPR e a fragilidade na argumentação de Bohr em favor da completude da teoria quântica. A princípio, o episódio foi escrito abordando as principais questões levantadas por EPR e comparando-as com os argumentos empreendidos por Bohr; em seguida, adicionamos os comentários das fontes secundárias.

Para as questões sobre a pseudo-história, utilizamos dois artigos do biólogo e historiador da Ciência, Douglas Allchin. Desses artigos nos apropriamos da arquitetura dos mitos para a Análise Documental realizada posteriormente. Referente ao instrumento de análise, utilizamos capítulos de livro e teses que abordam o tema Análise Documental e de conteúdo.

5.3.1.3 *Produção historiográfica*

No capítulo 2, tratamos das questões referentes à pseudo-história. Para isso, utilizamos dois textos de Douglas Allchin sobre os aspectos da Arquitetura Mítica, em que abordamos pontos de vista tendenciosos que podem deturpar os fatos inerentes aos acontecimentos históricos e como a Ciência funciona (ou como, geralmente, denominam – Natureza da Ciência).

Para escrever o episódio histórico, utilizamos, principalmente, os artigos originais de EPR (1935) e de Bohr (1935) publicados na *Physical Review*. Os capítulos 3 e 4 trazem uma discussão histórica sobre o Paradoxo EPR e a completude da MQ. Ambos os artigos foram comparados de acordo com os aspectos conceituais e estruturais da teoria quântica. Além disso, apresentamos as críticas provenientes das fontes secundárias a respeito dos questionamentos desses trabalhos.

5.3.2 Detalhamento dos critérios para a escolha dos documentos

Os documentos são compostos de livros-textos de FMC provenientes do Projeto Pedagógico do Curso (PPC) de Licenciatura em Física (tal documento foi utilizado como unidade temática para o levantamento dos livros aqui mencionados) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), pertencente ao Centro de Ciências e Tecnologia do Campus I (CCT/UEPB/Campus I), da cidade Campina Grande, sede da UEPB, os quais abordam conteúdos de vários campos da FMC. Interessou-nos, em particular, os voltados para a MQ e que tivessem relação com o Paradoxo EPR.

Depois de fazer o levantamento dos livros, submetemo-los a dois critérios de exclusão, para analisar os que nos pareceram mais relevantes no PPC e para nossos objetivos. O detalhamento de cada um desses critérios é apresentado no capítulo 6, destinado à análise e à discussão dos dados, como a quantidade e o percentual de livros excluídos e considerados para a análise propriamente dita.

5.3.3 Análise dos documentos

Primeiramente, fizemos uma análise preliminar, de acordo com as dimensões apresentadas no Quadro 3, considerando as discussões dos artigos de EPR e Bohr, assim como os documentos levantados para a análise principal. A análise principal foi realizada com base nos descritores, ou como também chamamos de elementos da Arquitetura Mítica, de pseudo-história de Douglas Allchin, que caracterizam a Arquitetura Mítica de algumas histórias que procuram empreender uma abordagem histórica dos conceitos científicos, através da Análise Categorical mencionada por Bardin (2011).

No conjunto das técnicas da análise de conteúdo, citaremos em primeiro lugar a análise por categorias; cronologicamente é a mais antiga; na prática é a mais utilizada. Funciona por operações de desmembramento do texto em unidades, em categorias segundo reagrupamentos analógicos. Entre as diferentes possibilidades de categorização, a investigação dos temas, ou *análise temática*, é rápida e eficaz na condição de se aplicar a discursos diretos (significações manifestas) e simples (BARDIN, 2011, p. 201, grifos do autor).

Sinteticamente, os descritores de pseudo-história, ou elementos da Arquitetura Mítica, são quatro: Monumentalidade, Idealização, Drama afetivo e Narrativa explicativa e de justificação. O capítulo 2 e a subseção 3.1, que corresponde à reconstrução

do episódio histórico, foram as bases para proceder à análise categorial dos documentos levantados e elaborar as categorias.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Assim como foi definido na metodologia, o levantamento dos documentos foi realizado a partir da Unidade Temática PPC do Curso de Licenciatura em Física do campus I da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), levando em conta as disciplinas que tratam dos conteúdos da FMC. As disciplinas que faziam discussões voltadas ao nosso objeto de estudo estão elencadas no Quadro 6, e os livros, no Quadro 7.

Quadro 6 – Disciplinas, ementas e códigos³⁶

Disciplina	Ementa	Código
Física Moderna I	Teoria da Relatividade especial. Radiação e a origem da Teoria Quântica. A Quantização da Eletricidade, da Luz e da Energia. A Descoberta do Núcleo Atômico. O Átomo de Bohr. Propriedades Corpusculares da Radiação. Dualidade Onda-Partícula. Postulados de De Broglie.	FIS01079
Física Moderna II	A versão de Schrödinger da Mecânica Quântica. Soluções da Equação de Schrödinger: partícula livre, poços de potenciais e o oscilador harmônico simples. O Átomo de hidrogênio. Física Nuclear: modelos nucleares, decaimento nuclear e reações nucleares. Partículas elementares.	FIS01082
Mecânica Quântica	Função de onda: interpretação estatística, normalização e operadores. Equação de Schrödinger em uma dimensão. Potenciais unidimensionais: poço de potencial infinito, oscilador harmônico simples, partícula livre, potencial delta e poço de potencial finito. Conceitos de álgebra linear: espaço vetorial, base, representação matricial de operadores, mudança de base e equação de autovalor. Formalismo da Mecânica Quântica. Equação de Schrödinger em três dimensões. Equação radial. Átomo de hidrogênio. Momento angular. Spin.	FIS01088
Ótica	A natureza da luz; O princípio de Huygens; O princípio de Fermat; Princípios básicos da ótica geométrica: Reflexão e Refração; Formação de imagens em superfícies refletoras; Imagens formadas por refração; Instrumentos óticos. Polarização; Interferência e Difração.	FIS01078

Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguir, sintetizamos os livros coletados das disciplinas apresentadas no Quadro 6. Conseguimos identificar 17 livros que abordam o conteúdo da Mecânica Quântica e que são indicados como bibliografia básica (BB), correspondendo a nove livros, e bibliografia complementar (BC), a oito. Por se tratar das principais indicações dos professores, limitamo-nos a analisar a BB, porque entendemos que sua consulta pelos

³⁶ As informações apresentadas no quadro foram extraídas do PPC de Física do campus I/UEPB (2016), assim como as dos quadros 7 e 9.

estudantes é mais provável. Assim, definimos como primeiro critério de exclusão a natureza da bibliografia (C1-NB).

Excepcionalmente, apresentamos a análise de uma BC, *Atomic Physics* de Max Born (1937), pois ele foi um dos que contribuiu para o desenvolvimento da Mecânica Quântica, especialmente na interpretação estatística da teoria, e viveu no período de efervescência (em torno da década de 1930) da teoria considerado no episódio histórico sobre o Paradoxo EPR que reconstruímos no capítulo 4.

Ademais, nos isentamos da análise de livros que já discutem sobre o tema a partir da abordagem da Historiografia da Ciência (C2-HC), pois é esperado que seu conteúdo esteja em conformidade com uma exposição dos fatos históricos de modo adequado e coerente com os acontecimentos. Para a exclusão baseada nesse critério, analisamos o conteúdo, a procedência do livro e a linha teórica em que o autor se insere.

Quadro 7 – Livros de FMC, autores e anos em ordem cronológica das BB e BC³⁷

Título	Autor(es)	Ano	Natureza da bibliografia
Atomic Physics	Max Born	1937	Complementar
Concepts of Modern Physics	Arthur Beiser	1973	Complementar
Quantum Mechanics	Claude Cohen-Tannoudji, Bernard Diu e Frank Laloe	1977	Complementar
Introdução à Física Moderna	Fernando José Costanti	1981	Complementar
Origens Históricas da Física Moderna: Introdução abreviada	Armando Gibert	1982	Complementar
Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas	Robert Eisberg e Robert Resnick	1994	Básica
Introduction to Quantum Mechanics	David Jeffrey Griffiths	1995	Complementar
Física Moderna	Paul Tipler e Ralph Llewellyn	2001	Básica
Fundamentos de Física Moderna	Robert Martin Eisberg	2002	Complementar
Mecânica Quântica	Waldemar Wolney Filho	2002	Básica

³⁷ Em razão da pandemia do coronavírus, COVID-19, iniciada em 2019, que se arrastou pelo ano de 2020, não pudemos usar as obras disponíveis na Biblioteca Central da UEPB. Portanto, adquirimos esses exemplares em sites especializados em comercialização de PDFs e compras de livros em páginas de sebos e livrarias. Algumas obras não são da mesma edição ou língua - havendo documentos em português, inglês e espanhol.

Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos	Francisco Caruso e Vitor Oguri	2006	Básica
Curso de Física Básica: ótica, relatividade e física quântica	Herch Moysés Nussenzveig	2013	Complementar
Conceitos de Física Quântica	Osvaldo Pessoa Jr.	2019	Básica

Fonte: Elaborado pelo autor.

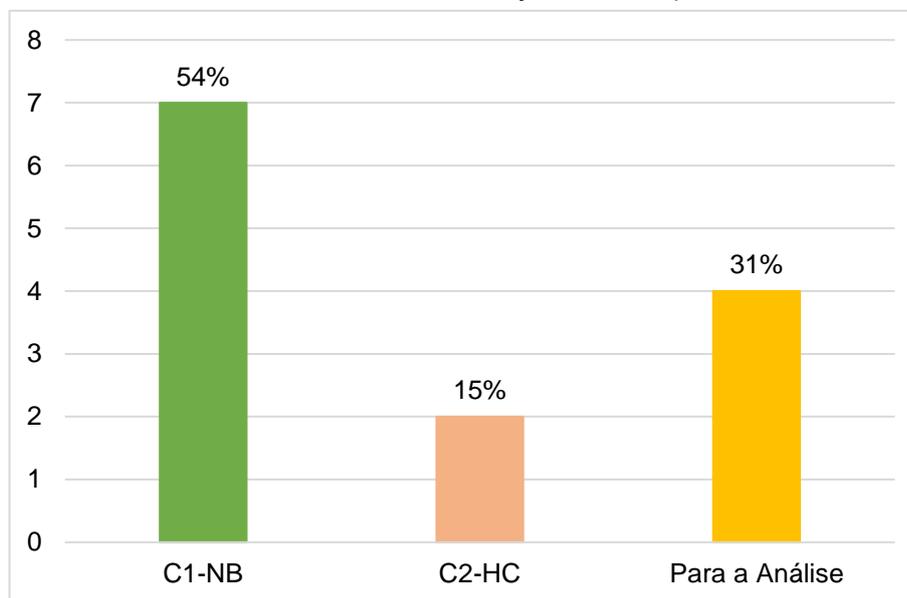
No Quadro 8, apresentamos a quantidade de livros excluídos para análise documental, de acordo com os critérios de exclusão C1-NB e C2-HC, assim como seus percentuais de acordo com o número total de documentos, e a quantidade restante. A partir do critério C1-NB, foram excluídos sete livros (54%), e a partir do C2-HC, dois (15%). Para a análise, considerando a exceção que explicamos anteriormente, restaram quatro (31%). O Gráfico 1 apresenta cada percentual aqui indicado.

Quadro 8 – Delimitação dos documentos em relação aos critérios de exclusão

	Critérios de exclusão		Livros para a análise
	C1-NB	C2-HC	
Quantidade	7	2	4
Total	13		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 1 – Exclusão e consideração de livros para análise



Fonte: Elaborado pelo autor.

Depois de aplicados os critérios de exclusão referidos, apresentamos, no Quadro 9, os livros considerados na análise documental. Os códigos dos livros foram ela-

borados considerando-se as primeiras e as últimas palavras dos seus títulos (na primeira parte, antes do traço) e as letras iniciais do nome do autor ou do primeiro nome de cada autor nos casos em que havia mais de um.

Quadro 9 – Livros de FMC, autores e anos em ordem cronológica dos documentos considerados para a análise

Código	Título	Autor(es)	Ano	Natureza da bibliografia
AP-MB	Atomic Physics	Max Born	1937	Complementar
FP-ER	Física Quântica: Átomos, Moleculas, Sólidos, Núcleos e Partículas	Robert Eisberg e Robert Resnick	1994	Básica
FM-TL	Física Moderna	Paul Tipler e Ralph Llewellyn	2001	Básica
MQ-WWF	Mecânica Quântica	Waldemar Wolney Filho	2002	Básica

Fonte: Elaborado pelo autor.

No próximo capítulo, descrevemos os documentos a partir dos parâmetros apresentados no Quadro 3 para estabelecer uma análise que respeite os contextos de produção dos documentos, sua relevância, a confiabilidade e as expectativas dos seus autores. Em seguida, apresentamos a análise propriamente dita.

6.1 Caracterização dos documentos: o contexto, o autor ou autores, a autenticidade, a confiabilidade e a natureza do texto, os conceitos-chave e a lógica interna do texto

Os documentos aqui analisados foram retirados do Projeto Pedagógico de Curso (PPC) da Licenciatura em Física do campus I da UEPB, sediado em Campina Grande-PB. Nesse sentido, apresentamos uma visão geral que consta no documento do perfil do egresso formado no curso em questão.

A princípio, um dos propósitos do projeto é de fornecer uma formação pautada na compreensão aprofundada da Física (Cf. PROJETO, 2016, p. 26). Ao defender a inserção da História e da Filosofia da Ciência (HFC) no Ensino de Ciências, alinhamo-nos ao consenso de que o ensino não deve envolver somente conceitos ou definições, mas também os funcionamentos daquela Ciência. Desse modo, o uso da HFC cumpriria parte do papel de oferecer uma visão aprofundada da Física na formação inicial de professores, fazendo cumprir o que ora pretendia o PPC supracitado. Matthews

(1995) aponta que há o consenso de que a HFC, além de oportunizar o estudo dos conteúdos científicos, ensina como essa determinada Ciência funciona, ou seja, sobre sua natureza ou naturezas científicas.

Além de algumas disciplinas que fazem uma abordagem HFC, o ponto levantado mostra que a história da Física é uma discussão necessária para o professor formado no curso descrito nesse PPC. Com isso, espera-se que esse profissional seja capaz de apresentar a Física para além dos seus conteúdos – como um empreendimento humano, historicamente definido, que produz mudanças sociais e que se modifica a partir das contingências sociais (Cf. PROJETO, 2016, p. 3210).

A seguir, caracterizamos os livros encontrados no PCC de Física a partir dos elementos descritos no Quadro 3. Dessa maneira, respeitamos os contextos de produção dos seguintes documentos, da história profissional de seus autores e a relevância que representam nos contextos acadêmicos onde comumente são encontrados.

6.1.1 *Atomic Physics (Max Born, 1937): AP-MB*

Descrever essa obra nos remonta a um período brutal da história humana, quando os ideais de liberdade e civilidade eram suprimidos pelo nazismo e pela tirania hitleriana. Ideias antidemocráticas foram sendo alimentadas desde muito tempo, antes dessa década, na Alemanha: nacionalismo, raça pura (biologicamente favorecidos) *versus* raça inferior e que a solução deveria vir de guerras e subjugação dos perdedores.

Digamos que a política genocida seja uma consequência da ideologia xenófoba que existia arraigada no pensamento da sociedade alemã de antes da década de 1930. Esse modo de pensar sobre os imigrantes, especialmente os judeus, foi sendo alimentado ocasionalmente pelo governo nazista, que viu nele a chance de justificar seus atos posteriores de perseguição, encarceramento e execução de milhares de pessoas na Alemanha.

Esse modelo de ver assemelha-se às apreciações que explicam a apatia e o consentimento da maioria da população a partir de sua experiência traumática dentro de um “sistema de delírio”. A população alemã seria vítima de um anestesiamiento coletivo, e não teria forças psicológicas para romper o cordão de encantamento que a prendia ao regime (LENHARO, 2003, p. 9).

Sobre a contribuição popular para o regime, citemos o caso da classe trabalhadora. Os burgueses mostravam-se cooperativos com as causas operárias e criaram o Partido Social-democrata (PSD), contudo, com objetivos de financiar o regime que se instalara e de ter um governo voltado para a burguesia. No entanto, os trabalhadores não aderiram ao nazismo apenas por questões econômicas. Isso se justifica devido ao pensamento comum que estava instalado naquele período (Cf. LENHARO, 2003).

Os valores sociais disseminados e repetidos giravam em torno dos bons costumes, que garantiam o modelo social pregado e imposto pelos nazistas, por se acreditar num padrão de família pequeno-burguesa, de hierarquias e deveres para manter o *status quo*. Esse modelo era apreendido, também, pela classe trabalhadora (Cf. LENHARO, 2003).

Ela [a família pequeno-burguesa] opera com a energia sexual dos filhos para lhes impor as normas sociais e canalizá-las para os rumos da manutenção do *status quo*. Cultiva a honra, o dever, a docilidade não crítica, a subserviência à autoridade. O pai introduz na família a posição que assume em relação a seu superior hierárquico na sociedade. Assim submetido a uma identificação com seu pai, o filho manterá, com qualquer autoridade, as mesmas inclinações de subserviência dotadas de forte carga afetiva (LENHARO, 2003, p. 15).

Mas a crise econômica levou estudantes a aderirem ao regime também, um dos principais grupos a ser afetado pelo desemprego. Guiados pela ideia de companheirismo e virilidade, os jovens acabavam se alistando nos *Freikorps* (Corpos de Voluntários) do Exército alemão. Até mesmo jovens de partidos comunistas se renderam aos efeitos da miséria instalada e se tornaram agentes das Divisões de Assalto (as SA) (Cf. LENHARO, 2003). Além dos estudantes, Lenharo (2003) estimou que cerca de 80% dos professores universitários aderiram ao nazismo, e os 20% restantes eram compostos dos que resistiram ou migraram do país.

Houve uma política de purificação (não apenas da “sujeira” que poderia representar os judeus e os doentes, mas também da construção de uma moral dos bons costumes) da nação que não só matou os judeus, como também foi usada para eliminar os improdutivos, como os homossexuais e os doentes incapacitados de prestar serviços ao país e aos propósitos do regime nazista. Havia o senso da existência da ordem natural da vida, em que os homens desempenhavam o papel de guerrilheiros, e as mulheres, de reprodutoras santificadas.

Não havia problemas se as mulheres tivessem relações homoafetivas, porque ainda eram vistas como mulheres e poderiam desempenhar seus papéis de reprodutoras. Quanto aos homens, se tivessem relacionamentos sexuais com outros, deveriam ser aprisionados e expurgados, pois sua condição feminina os impedia de procriar e atender às demandas do regime instaurado (Cf. LENHARO, 2003).

O regime nazista tinha inimigos - os comunistas, os judeus e os pacifistas (LENHARO, 2003). A Ciência e os cientistas que eram considerados danosos foram perseguidos, assim como foram Albert Einstein e Karl Marx. Muitos deles eram judeus. Os que não se rebelavam acabaram se refugiando em outros países. Um desses cientistas a se refugiar fora da Alemanha foi o físico e matemático Max Born, que nasceu na cidade polaca de Wrocław (14 de dezembro de 1882, em alemão, Breslau) e morreu em Göttingen (29 de fevereiro de 1970).

Como prática educativa nacional, a educação que Born recebeu concernia da mesma oferecida pelas escolas alemães da época. “Born recebeu uma educação liberal e integral, comum nos ginásios alemães da época, assim aprendeu tanto cultura clássica greco-latina e musical (rapidamente começou a tocar piano) como Ciências naturais, as quais foram, especialmente, promovidas pelo seu pai” (BARBERO, 2018, p. 57, tradução nossa)³⁸.

No início dos estudos universitários, Born não procurou ingressar em algum curso que lhe oferecesse uma formação específica, pois se acreditava que ele não esperava ser especialista em algum campo de estudos, já que demonstrava mais interesse pelos desdobramentos filosóficos da Ciência do que pelos resultados concretos (Cf. BARBERO, 2018). No entanto, seguindo o conselho do seu amigo Otto Toeplitz, Born começou a estudar matemática em Göttingen em 1904. “Lá teria como professores e mestres dois dos mais ilustres matemáticos da época: David Hilbert (1862-1943) e Hermann Minkowski (1864-1909)” (BARBERO, 2018, p. 58, tradução nossa)³⁹. Entretanto, acredita-se que Born não esperava demonstrar capacidade de fazer investigações no campo da Matemática teórica, o que o levou a ingressar na área da Física (Cf. BARBERO, 2018).

³⁸ Born recibió una educación liberal e integral, usual en los Gymnasium alemanes de la época; así aprendió tanto cultura clásica grecolatina y musical (muy pronto empezó a tocar el piano) como ciencias naturales, éstas últimas especialmente promovidas por su padre (BARBERO, 2018, p. 57).

³⁹ Allí tendría como profesores y maestros a dos de los más ilustres matemáticos de la época: David Hilbert (1862-1943) y Hermann Minkowski (1864-1909) (BARBERO, 2018, p. 58).

Trabalhando com física, Born foi admitido por Otto Richard Lummer (1860-1925) no laboratório do Departamento de Física da Universidade da Breslau, no entanto, sem obter muitos êxitos no campo experimental. Depois de ouvir, através de Lummer, a expressão *quanta*, Born começou a estudar conceitos da Física Moderna, como o efeito fotoelétrico e a teoria da relatividade restrita endossados por Albert Einstein (Cf. BARBERO, 2018).

Fruto da sua convivência, Von Kármán e Born desenvolveram uma sofisticada teoria físico-matemática sobre as vibrações das redes cristalinas, com a finalidade de deduzir a equação que proporciona a dependência entre o calor específico e a temperatura. Seria a sua primeira aproximação séria e inédita da física atômica (BARBERO, 2018, p. 59, tradução nossa)⁴⁰.

Barbero (2018) afirma que, nos primeiros 20 anos do Século XX, era consensual que a Física clássica oferecia argumentos limitados para os fenômenos quânticos. Nesse sentido, Born teria sido um dos primeiros a reconhecer a necessidade de elaborar uma nova mecânica. Assim, no ano de 1924, ele usou a expressão ‘mecânica quântica’ numa publicação na Revista *Zeitschrift für Physik*.

A partir dos estudos de Heisenberg, Born reinterpretou sua regra da multiplicação e obteve a equação $p \cdot q - q \cdot p = \left(\frac{h}{2\pi i}\right) I$, em que p e q são definidos como previamente o fizemos e I é a matriz identidade. Para Born, essa expressão representou o auge de sua investigação. Por conseguinte, Heisenberg, Born e Jordan uniram esforços para apresentar ferramentas matemáticas da nova mecânica, publicando um artigo conhecido como o trabalho dos três homens (Cf. BARBERO, 2018).

Outro ponto de interesse sobre as realizações de Born é sua contribuição para a interpretação estatística da função de onda Ψ , que foi aceita por personalidades como Bohr e Pauli e rejeitada por Einstein, Planck, Sommerfeld e Schrödinger. Acredita-se que a ideia utilizada por Born se assemelhava à expressa por Einstein de que o quadrado da amplitude da onda eletromagnética é, estatisticamente, proporcional à quantidade de fótons existentes (Cf. BARBERO, 2018).

Born pensou que o número de partículas antes e depois da colisão poderiam ser reinterpretadas como uma probabilidade estatística, o que lhe levou a in-

⁴⁰ Fruto de su convivencia, Von Kármán y Born desarrollaron una sofisticada teoría físico-matemática sobre las vibraciones de las redes cristalinas, con la finalidad de deducir la ecuación que proporciona la dependencia del calor específico con la temperatura. Sería su primer acercamiento serio y novedoso a la física atómica (BARBERO, 2018, p. 59).

ferir que o quadrado do módulo de Ψ devia representar a densidade de probabilidade de encontrar um elétron (ou outra partícula) em região do espaço (BARBERO, 2018, p. 62, tradução nossa)⁴¹.

A vida profissional de Born também foi marcada por acontecimentos desagradáveis e traumáticos. Primeiramente, depois de se graduar na universidade, Born teve que prestar serviço militar obrigatório, o que lhe fez desenvolver um sentimento de aversão ao militarismo. Porém isso não lhe impediu de servir na Primeira Guerra Mundial. Em março de 1915, Born foi convocado a incorporar o exército no setor de comunicação sem fio.

Mais tarde, em 10 de maio de 1933, Born e sua família deixaram a cidade de Göttingen para procurar refúgio no Tirol italiano, depois da promulgação da lei de Restauração do Serviço Civil Profissional em abril de 1933, uma vez que tinha origem judaica. Não obstante, foi na Grã Bretanha onde ele e a esposa Hedwig se estabeleceram e permaneceram por dezessete anos. “[...] finalmente conseguiu um posto estável como *Tait Chair of Natural Philosophy* na Universidade de Edimburgo” (BARBERO, 2018, p. 63, grifos nossos, tradução nossa)⁴².

Embora a Segunda Guerra Mundial tenha afetado a Born e a sua família, ele procurou usar sua influência para ajudar a outros judeus que procuravam refúgio fora da Alemanha. Ademais, Born utilizou o seu prestígio como cientista para comover um grande número de pessoas e estimulá-las a se engajar em ativismos sociais com a finalidade de promover a paz (Cf. BARBERO, 2018).

Nesse sentido, Born, Hahn, Heisenberg e Carl von Weizsäcker escreveram um manifesto pela paz - a Declaração dos 18 de Göttingen de 15 de julho de 1955 - além do manifesto Russell-Einstein, que foi o último ato político de Born, que morreu aos 87 anos. Em sua lápide, inscreveram a equação da reinterpretação da regra da multiplicação de Heisenberg (Cf. BARBERO, 2018).

A segunda edição do seu livro *Atomic Physics* foi publicada pela Editora *Blackie and Son Limited*, originalmente em alemão e, nessa ocasião, traduzido para o inglês⁴³. A *Blackie and Son Limited* foi fundada em 20 de novembro de 1809, com o nome de

⁴¹ Born pensó que el número de partículas antes y después de la colisión podrían reinterpretarse como una probabilidad estadística, lo cual le llevó a intuir que el módulo al cuadrado de Ψ debía de representar la densidad de probabilidad de encontrar un electrón (u otra partícula) en una zona del espacio (BARBERO, 2018, p. 62).

⁴² “[...] por fin consiguió un puesto estable como Tait Chair of Natural Philosophy en la Universidad de Edimburgo” (BARBERO, 2018, p. 63).

⁴³ As informações sobre essa editora podem ser encontradas na página *web Archives Hub* sob o título *Records of Blackie & Son Ltd, publishers, Bishopbriggs, Glasgow, Scotland*.

Blackie, Fullerton & Co., em Glasgow, na Escócia. Inicialmente, começaram com o negócio de venda de livros no período da sua fundação; em 1811, a publicar os próprios livros e, em 1819, a imprimir.

Dentre os vários gêneros de publicações, como temas gerais e educacionais, a *Blackie and Son Limited* passou a publicar textos científicos e matemáticos avançados com a criação do Departamento Técnico e Científico depois de 1918. A editora permaneceu no trabalho de publicação até o ano de 1991 e encerrou os serviços a partir desse ano. Seus títulos foram vendidos para outras companhias de acordo com os temas de interesse de cada uma delas.

Esse documento, de autoria de Max Born, é um livro de Física que trata, especificamente, dos fenômenos de natureza atômica. Considerando o nosso objeto de pesquisa e o episódio aqui reconstruído, concentramo-nos no capítulo 4 do seu livro. Primeiramente, falando da linguagem adotada, sua escrita é voltada para um público universitário que apresenta conhecimento sistematizado sobre o tema.

No capítulo 4, cujo título é ‘Onda-corpúsculos⁴⁴’, o autor discute sobre os aspectos ondulatórios e corpusculares das partículas baseados em discussões prévias realizadas pelos pares e experimentos. Em relação à abordagem de conteúdo histórico, Born frequentemente faz menção a fatos históricos e apresenta informações rápidas e alguns nomes de cientistas que estiveram envolvidos no desenvolvimento dos estudos acerca da dualidade onda-partícula.

Ao longo do capítulo, encontramos como palavras-chave absorção e emissão de radiação, estados estacionários discretos, espalhamento de raios X ou radiação espalhada, em relação à dualidade onda-partícula; feixe eletrônico, “trem” de onda, feixes de luz, quanta de luz, fotoelétrons, efeito fotoelétrico e quantização, relacionadas às características corpusculares; fenômeno da difração óptica, experimento de interferência de Young, padrão de difração, fenômeno de interferência, radiação, frequência, espectro, propagação da radiação e natureza ondulatória da matéria sobre os aspectos ondulatórios do conteúdo⁴⁵.

⁴⁴ Essa é uma tradução do título original *Wave-corpuscles*. Uma possível tradução para ele seria ‘Onda-partículas’, no entanto, procuramos nos aproximar de maneira considerável das palavras expressas, uma vez que as palavras *particle* e *particles* também aparecem com frequência no texto.

⁴⁵ Como foram originalmente escritas: absorption and emission of radiation; discrete stationary states; scattering of X-rays; scattered radiation; interacting; electronic beam; wave train; beams of light; light quanta; photoelectron/s; photoelectric effect; quantisation; phenomena of optical diffraction; Young’s interference experiment; diffraction pattern; interference phenomena; radiation; frequency, spectrum; propagation of the radiation; wave nature of matter.

6.1.2 Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas (Robert Eisberg e Robert Resnick, 1994): FP-ER

O ano de 1994 ainda era muito recente para dois momentos de grandes tensões ocorridas no mundo desse século. O primeiro foi a Segunda Guerra Mundial, que iniciou em 1939 e terminou em 1945. Dois anos depois, veio a Guerra Fria, de 1947 até 1991. Nos anos de 1990, os Estados Unidos procuravam firmar aproximações políticas com os países da América do Sul no que dizia respeito às questões econômicas e de segurança nacional (Cf. HERZ, 2002).

Dentre as ações implementadas pelos Estados Unidos, no campo da Segurança Nacional, está a política de desarmamento de armas de destruição em massa, o que representava uma das principais ameaças ao país norte-americano. Além disso, os Estados Unidos procuraram combater o crime organizado e o tráfico de drogas e de armas nos países latino-americanos e combater a imigração ilegal advinda do hemisfério sul.

Em 1991, Brasil, Argentina e Chile assinaram a Declaração de Mendoza se comprometendo a não produzir, comprar, armazenar, usar ou transferir armas químicas ou biológicas. Bolívia, Equador, Paraguai e Uruguai também aderiram à Declaração. A Declaração de Cartagena, assinada em dezembro de 1991, compromete os países andinos à renunciar as armas de destruição em massa. Em fevereiro de 1995, a Argentina aderiu ao Tratado de Não-Proliferação Nuclear e, em 1998, o Brasil fez o mesmo (HERZ, 2002, p. 100-101).

No entanto, apesar de algumas restrições sobre a aquisição de armas, os Estados Unidos consideraram a venda de equipamentos de informática avançada e tecnologia nuclear, dentre outros, para a Argentina, em fevereiro de 1993. Essa decisão visava à abertura do comércio no continente sul-americano, porém ajudou a intensificar conflitos entre países vizinhos (Cf. HERZ, 2002). Primeiro, o país procurava controlar dispositivos potencialmente perigosos para a segurança nacional e, depois, manter-se hegemônico economicamente.

Tratando-se da economia americana, na década de 90, os Estados Unidos experienciaram um crescimento econômico praticamente individual, fenômeno que a Europa e o Japão não puderam experienciar considerando o mesmo período. “[...] o PIB dos EUA iniciou os anos 90 em US\$ 5,80 trilhões e terminou a década quase duas vezes acima desse valor, em US\$ 9,27 trilhões. [...] No primeiro semestre de 1998 [...]

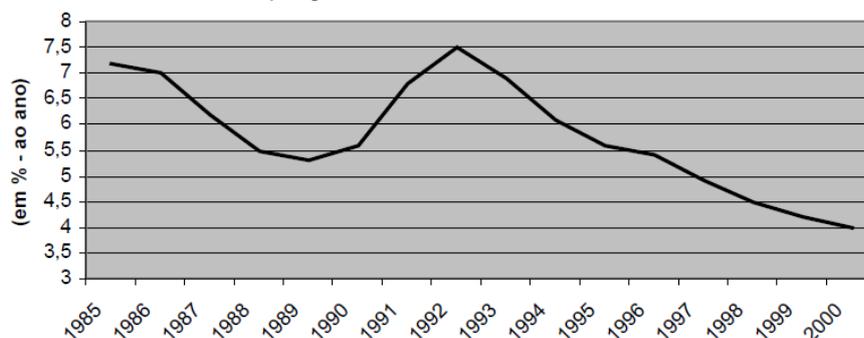
o crescimento do PIB foi de 6,1%; no último semestre desse mesmo ano, o aumento foi de 6,7%.” (SILVA JÚNIOR, 2004, p. 22).

Um dos motivos para o crescimento foi o desempenho do setor de manufaturados, que apresentou uma média na taxa de crescimento de 5,1% ao ano, entre os anos de 1993 e 1999, estimulando a produção em outros setores como o de não manufaturados. Ademais, foram as medidas tomadas para combater a crise dos anos 80 que levaram a esse crescimento do setor (Cf. SILVA JÚNIOR, 2004).

Para Brenner (1998 e 2003), foi a queda do dólar, a contenção dos salários reais e a política tributária do governo norte-americano, iniciadas em meados da década de 80, que abriram caminho para a recuperação do setor de manufaturados. A partir do final de 1993, soma-se a esses fatores, o aumento da produtividade (SILVA JÚNIOR, 2004, p. 23).

Com o aumento do PIB, a sociedade americana pôde experienciar mudanças positivas em suas vidas, como a queda da taxa de desemprego (Figura 2). “O crescimento do PIB foi acompanhando por uma redução das taxas de desemprego. O pior ano da década foi 1992, quando a taxa ficou em 7,5%, resultado dos nove meses de recessão por que passou o país” (SILVA JÚNIOR, 2004, p. 24).

Figura 2 – Taxa de desemprego nos Estados Unidos entre os anos de 1985 e 2000



Fonte: (SILVA JÚNIOR, 2004, p. 24).

Entre os anos de 1990 e 2000, houve uma acentuada procura por investimentos nos Estados Unidos, o que ajudou a manter o ciclo de crescimento econômico no país e evitou a geração de inflação. “Segundo dados do Banco Mundial, o investimento externo direto nos Estados Unidos teve um forte crescimento na década: 1.200% entre 1991 e 2000. No período, o total de investimentos passou de US\$ 23,180 bilhões para US\$ 287,680 bilhões” (SILVA JÚNIOR, 2002, p. 29). Em nível de comparação, os

investimentos estrangeiros eram de 1,4% em relação ao PIB, em 1952, e passaram a 19,8% em 1995 (Cf. SILVA JÚNIOR, 2002).

É nesse contexto em que se inserem os autores do livro Robert Eisberg e Robert Resnick, físicos americanos que se dedicaram a escrever livros-textos de Física destinados à formação profissional universitária de físicos e engenheiros. Eisberg nasceu em 1928, recebeu o título de Doutorado em 1953 e foi professor na Universidade da Califórnia; Resnick nasceu em 1923 e morreu em 2014; recebeu o título de Doutorado em 1949, na Universidade John Hopkins; foi contratado pela Universidade de Pittsburgh no mesmo ano e trabalhou até se aposentar, em 1993, no Instituto Politécnico Rensselaer (Cf. FANTIN, 2020).

Resnick tem um vasto histórico de produção desse tipo de material, o que podemos ver em seus trabalhos como autor, na década de 70, e coautor com David Halliday, em 1960, quando publicou o livro *Physics for Students of Science and Engineering* voltado para a abordagem de física básica universitária. Como autor, Eisberg (1961) publicou o livro *Fundamentals of Modern Physics*, em que discute sobre tópicos de Física Quântica e Relatividade Restrita (Cf. FANTIN, 2020).

Sobre a publicação de seu livro, que analisamos neste trabalho, Resnick demonstrou uma preocupação com a exposição do formalismo matemático e com a entrada de novos estudantes em Cursos de Física e sua capacidade de concluir (Cf. FANTIN, 2020). Do documento produzido por Eisberg e Resnick, analisamos dois tópicos do capítulo 1, 1-1 Introdução e 1-7 Um pouco de história da Física Quântica, o capítulo 2, Fótons – Propriedades corpusculares da radiação, o capítulo 3, O postulado de De Broglie – Propriedades ondulatórias das partículas e um tópico do capítulo 4, 4-12 Uma crítica à antiga teoria quântica.

Seu livro foi publicado pela Editora *John Wiley & Sons, Inc.*, cuja sede localiza-se na cidade de Nova Jersey, nos Estados Unidos, além de outras unidades distribuídas por outras partes do planeta. Foi fundada em 1807 e é responsável pela publicação de materiais que abordam conteúdos científicos, técnicos, médicos, de pesquisa acadêmica, desenvolvimento profissional e educação⁴⁶.

Esse livro foi escrito para um público universitário, principalmente para alunos de Cursos de Física, contudo pode atender a públicos dos Cursos de Engenharia, levando em consideração o histórico de produção dos autores, como podemos ver em

⁴⁶ Para conferir essas e outras informações sobre a editora, consulte a página *web* <https://www.wiley.com/WileyCDA/Section/id-301454.html>.

Fantin (2020), em que são explorados os fundamentos quânticos de átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, e se discute acerca dos aspectos corpusculares e ondulatórios que os autores apresentam nos capítulos e nos tópicos que mencionamos anteriormente.

Em seu corpo teórico, aparecem nomenclaturas como efeito fotoelétrico, teoria eletromagnética clássica, ondas eletromagnéticas, propagação da luz, corrente fotoelétrica, fotoelétron, frente de onda, fótons, interferência e difração, fórmula da radiação de Planck, espectro eletromagnético, comprimento de onda e ângulo de espalhamento. Esses termos e expressões são algumas palavras-chave do conteúdo apresentado pelos autores.

6.1.3 Física Moderna (Paul Tipler e Ralph Llewellyn, 2001): FM-TL

O ano 2000, início do século, foi marcado por importantes mudanças culturais, sociais e econômicas, especialmente nos Estados Unidos. No campo da Economia, a expressão 'Nova Economia' descreve a mudança de setor que mais contribui para o crescimento econômico do país, que deixou de ser o da manufatura e passou para o de produção e venda dos computadores. O ano de 2001, o qual estamos considerando, foi marcado pelo atentado às Torres Gêmeas, o *Trade World Center*, localizado em Nova York, além da crise econômica vivenciada a partir desse ano.

A “*nova economia*” também espalhou-se por todo o país em termos geográficos. No início da década de 90, os pólos de desenvolvimento tecnológico nos EUA estavam delimitados geograficamente: o Vale do Silício na Califórnia, as regiões de Seattle, Boston, Austin (no Texas, terra da Dell Computer) e na Carolina do Norte, onde está localizado o Research Triangle Park. Segundo o relatório do Departamento de Comércio dos Estados Unidos, *The Emerging Digital Economy* (2000), a partir de 1995, com o desenvolvimento da internet, cada estado norte-americano procurou ter um pólo tecnológico (SILVA JÚNIOR, 2004, p. 32, grifos do autor).

O ano de 2001 foi o início do primeiro mandato do governo de George W. Bush, iniciado com tensões políticas internacionais, especialmente no setor da segurança, devido ao evento ocorrido no mês de setembro desse ano e à crise no mercado de ações de empresas de Telecomunicações e *Internet*, que provou falências, aumento da taxa de desemprego e desvalorização de ações. Bush, em sua gestão, procurava diminuir o déficit fiscal, apesar de aplicar amplas concessões fiscais e manter ocupações militares no exterior (Cf. SCHINCARIOL, 2018).

Ao mesmo tempo em que setores como o da educação e o da saúde perdiam recursos, o de defesa teve um aumento considerável de recursos a partir dos acontecimentos do dia 11 de setembro. Esse grande investimento de recursos no setor de defesa se justifica devido ao discurso de combate ao terrorismo, que culminou com as guerras contra o Afeganistão e o Iraque (Cf. SCHINCARIOL, 2018).

Sobre a crise mencionada, o setor que se mostrava promissor era o imobiliário. De acordo com as expectativas do ex-presidente do *Federal Reserve*, Alan Greenspan, “[...] o mercado de capitais centrado em instituições menores, e particularmente as que faziam empréstimos denominados em bens imóveis, teriam sido responsáveis pela diminuição dos impactos de crises conjunturais, como em 1990” (SCHINCARIOL, 2018, p. 282).

A gestão implementada no governo Bush não se centrou no setor produtivo, na poupança doméstica, no crescimento proporcional de salários, na redução da militarização nem na redução do uso de petróleo. A crise de 2001 foi intensificada por algumas medidas que foram assumidas pelo governo, como a confiança na autocorreção do sistema econômico, a política militarista e o déficit do comércio exterior de capital produtivo (Cf. SCHINCARIOL, 2018).

Nesse contexto nacional, viviam os autores Paul Tipler e Ralph Llewellyn, cujas vidas pessoais e profissionais eram envolvidas nessa conjuntura, nessas variáveis sociais, aqui consideradas indissociáveis de suas atuações como físicos e escritores. Tipler⁴⁷ nasceu em 1933, na cidade de Antigo, localizada no estado do Wisconsin. Em 1955, terminou a Graduação, na Universidade de Purdue, e em 1962, o Doutorado, na Universidade de Illinois, realizando pesquisa sobre a estrutura dos núcleos.

Como professor, Tipler ensinou na Universidade de Wesleyan, quando ainda cursava o Doutorado, e depois, trabalhou na Universidade de Oakland e foi um dos membros fundadores do Departamento de Física. Ao longo de sua carreira profissional, escreveu livros-textos de Física: duas edições de Física Moderna (1969; 1978); duas, de Física (1976; 1982); uma, de Física Universitária (1987); e a terceira edição de Física (1991).

⁴⁷ Informações sobre Paul Tipler podem ser encontradas nas páginas iniciais de seus livros. Aqui, estamos utilizando sua descrição encontrada no livro “TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros**: Mecânica, oscilações e ondas e termodinâmica. 6. ed. v. 1. Rio de Janeiro: LTC, 2009”.

É provável que Ralph Llewellyn tenha nascido no ano de 1933, graduou-se com distinção em Engenharia Química, no Instituto de Tecnologia de Rose-Hulman e recebeu o título de Doutorado em Física Nuclear Experimental na Universidade de Purdue em 1961. Depois de ser professor assistente no ano de 1961, tornou-se coordenador de Física e diretor de estudos de pós-graduação no mesmo instituto. Em 1973, foi presidente e professor de Física no Campus Terre Haute na Universidade do Estado de Indiana⁴⁸.

No ano de 1980, o presidente da Universidade da Flórida Central, Colbourn, indicou Llewellyn para Reitor da nova Faculdade de Artes e Ciências, que abrangia as áreas das Humanidades e Artes, Ciências Naturais e Sociais. Llewellyn também foi membro da Academia de Ciências de Nova York, da Associação Americana para o Avanço da Ciência, da Sociedade Americana de Física, da Fundação Oceanográfica Internacional e da Associação Internacional da *Great Lakes Research*.

O livro Física Moderna aborda conteúdos de Relatividade, Física Quântica, Física Estatística, Física Nuclear, Física de Partículas, Astrofísica e Cosmologia, de maneira introdutória, voltados para os cursos de formação de físicos e, em especial, de professores de Física, considerando a área do ensino de Ciências em que esta pesquisa se insere. Esse documento foi publicado pela Editora *W. H. Freeman and Company*, especializada em publicação de material sobre Ciências naturais.

A *W. H. Freeman and Company*⁴⁹ foi fundada em 1946 por William Freeman, e uma de suas primeiras publicações foi o livro Química Geral, de Linus Pauling, considerado uma revolução no currículo de Química. Essa publicação foi responsável por definir o perfil de publicações da editora voltadas para as Ciências naturais e para a matemática, o que contribuiu para divulgar pesquisas nessas áreas.

Para analisar seu conteúdo, consideramos os tópicos 3.3 - O Efeito Fotoelétrico, 3.4 - Raios X e o Efeito Compton, do capítulo 3, "Quantização da Carga, Luz e Energia", e o capítulo 5, "Propriedades Ondulatórias das Partículas". Nesses capítulos, encontramos palavras e expressões como efeito fotoelétrico, intensidade da luz,

⁴⁸ Essas informações podem ser encontradas numa das edições do jornal *The UCF Report* de 1980, indicados nas referências como "LLEWELLYN will direct combined 'super college'. **The UCF Report**, Orlando, 9 jul. 1980. Disponível em: <https://stars.library.ucf.edu/ucfreport/52/>. Acesso em: 26 mar. 2021".

⁴⁹ Essas informações sobre a Editora *W. H. Freeman and Company* podem ser encontradas no endereço *web* <https://www.macmillanlearning.com/college/us/our-story>.

fótons, raios X, elétrons livres, raios catódicos, comprimento de onda, espectro contínuo, efeito Compton, difração, interferência, dualismo onda-partícula, propriedades ondulatórias da luz, dentre outras.

6.1.4 Mecânica Quântica (Waldemar Wolney Filho, 2002): MQ-WWF

O ano de 2002 foi de grandes mudanças para o Brasil, com uma reviravolta na política do país, seguida de inseguranças advindas de outras países, o que resultou na elevação de juros e da inflação. Nesse ano, investiu-se muito pouco em saúde e educação para atender às camadas mais vulneráveis da população. Esse investimento estava aquém das políticas sociais ideais.

Foi um ano de eleições presidenciais, e na corrida pela presidência, estavam José Serra, do Partido da Social Democracia Brasileira (PSDB), Luís Inácio Lula da Silva, do Partido dos Trabalhadores (PT), Ciro Gomes, do Partido Popular Socialista (PPS), atualmente conhecido como Cidadania, e Anthony Garotinho, do Partido Socialista Brasileiro (PSB). No ano em questão, o atual presidente era Fernando Henrique Cardoso, também partidário do PSDB.

A evolução das eleições produziu efeitos na economia, uma vez que um candidato de esquerda estava ganhando projeção e demonstrando que seria o eleito. Com a ascensão de Lula, que o levou ao segundo turno, a resposta econômica não era animadora, e isso resultou numa imagem de risco-Brasil elevado e na piora de vários indicadores econômicos. Isso levou o então presidente a tomar medidas desesperadas.

Desde meados de 2002, com a subida do petista nas pesquisas, vários indicadores pioraram, com a alta do dólar, do risco-Brasil e da inflação. Em resposta, Fernando Henrique anuncia em agosto um acordo de 30 bilhões de dólares com o Fundo Monetário Internacional (FMI). Até o fim do ano, os juros fixados pelo Banco Central sobem a 25% ao ano, a maior taxa desde 1999, e a inflação anual vai a 12,53% (ALMANAQUE, 2004, p. 408).

O segundo turno das eleições foi disputado entre Lula, que obteve 46% dos votos, e José Serra, 23%. No dia 27 de outubro de 2002, Lula foi eleito Presidente do Brasil, com 61% dos votos, portanto, 52,7. Teve como vice-Presidente José de Alencar, do Partido Liberal (PL), empresário do setor têxtil (Cf. ALMANAQUE, 2004). Esse foi um marco de mudanças na política nacional, pois se tratava de um ex-líder sindical

chegando à governança do país, que causou comoção nacional entre as camadas populares, entre os menos favorecidos.

Nesse ano, a saúde e a educação eram áreas fragilizadas, com pouco investimento. Na saúde, por exemplo, o investimento *per capita* era de US\$ 201,00, abaixo da média mundial, que que era de US\$ 1.061,00 (Cf. LAVINAS; GENTIL, 2018). A título de comparação, em 2002, os Estados Unidos investiam, em média, US\$ 3.302,00 em saúde *per capita* (Cf. KANAMURA; VIANA, 2007), o que representava uma grande diferença entre os valores praticados no contexto brasileiro.

Uma pequena parcela, que podia recorrer a outras formas de acesso à saúde, procurava a cobertura de planos privados. Segundo Lavinias e Gentil (2018), em dezembro de 2002, informações da Agência Nacional de Saúde Suplementar (ANS) mostraram que 31,5 milhões de pessoas tinham planos privados de assistência médica e 3,6 milhões de planos odontológicos, não chegando nem a 20% da população no período.

Quanto à educação, em especial, o Ensino Superior, havia um escasso número de brasileiros nesse nível de ensino. De acordo com Lavinias e Gentil (2018), brasileiros com idades de 25 anos ou mais que estavam na universidade eram 7,6% no ano de 2002, percentual que teve aumento ao longo do governo PT. Essa subida pode ser entendida como uma das pautas implementadas pela gestão. Em contrapartida, os estudantes de instituições privadas correspondiam a 75% nesse ano.

Até aqui, caracterizamos o Brasil do ano de 2002, período em que o professor e físico Waldemar Wolney Filho⁵⁰ se inseria quando produziu a segunda edição do livro *Mecânica Quântica*. Wolney Filho graduou-se em Bacharelado em Física na Universidade de Brasília (UnB) em 1968, especializou-se e cursou o Mestrado em Física também na UnB, durante o ano de 1968 e entre 1971 e 1973, respectivamente. Cursou o Doutorado em Física na Universidade de Sheffield, na Inglaterra, entre 1976 e 1980, e o estágio pós-doutoral, entre 1988 e 1989.

Wolney Filho pesquisa, principalmente, sobre ressonância magnética nuclear, ressonância quadrupolar, tempos de relaxação spin-rede, tempos de relação spin-spin

⁵⁰ As informações aqui prestadas foram coletadas de sua descrição do currículo lattes. Para conferir essas e outras informações sobre o seu perfil profissional, a referência para consulta é "WOLNEY FILHO, Waldemar. **Currículo do sistema currículo lattes**. Brasília, 29 mai. 2000. Disponível em: <http://lattes.cnpq.br/5175016827804378>. Acesso em: 10 abr. 2021".

e difusão. Sua dissertação foi intitulada 'Ressonância Quadrupolar Nuclear dos Compostos de $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ', e a tese, como '*Nuclear Magnetic Relaxation in Molten Alkali Halides*' (Relaxação Magnética Nuclear em Haletos Alcalinos Derretidos). O estágio pós-doutoral foi realizado na linha temática da Matéria Condensada.

No ano de 1969, começou a trabalhar na Universidade Federal de Goiás (UFG), onde ministrou disciplinas como Teoria Eletromagnética, Mecânica Quântica (tanto na graduação quanto na pós-graduação em Física), Eletrônica Analógica e Física Básica, referentemente ao ano de 2000. Depois que se aposentou, pelo trabalho prestado no Instituto de Física da UFG, Wolney Filho foi reconhecido com o título de professor emérito, numa cerimônia realizada em 17 de novembro de 2017 (Cf. UNIVERSIDADE FEDERAL DO GOIÁS, 2017).

Além do trabalho realizado no ensino e na pesquisa, Wolney Filho escreveu o livro Mecânica Quântica e lançou sua segunda edição em 2002. A Editora UFG, da universidade onde ele trabalhava, lançou o seu livro, cujo conteúdo é utilizado em cursos de graduação, oferecendo uma distinção entre as limitações inerentes à Física Clássica ao tentar explicar os fenômenos atômicos e os alcances e sucessos da Física Quântica nesse sentido.

Além de apresentar os desdobramentos matemáticos da teoria e dos fenômenos, o livro apresenta discussões conceituais, históricas e essencialmente filosóficas sobre os modos como a natureza funciona e sobre as conveniências teóricas para explicá-la. Alguns desenvolvimentos matemáticos são omitidos, como expansões em série, por exemplo, pois o autor menciona o procedimento para resolver a equação e mostra a forma final, talvez por entender que os estudantes já viram e já sabem operacionalizar as técnicas matemáticas.

A despeito da editora⁵¹, foi fundada em 23 de agosto de 1962, como Imprensa Universitária da UFG, desempenhando funções de impressão de material da universidade e publicação de um jornal interno. O principal apoio para que fosse criada veio do então Reitor, o Professor Colemar Natal e Silva, que também foi um dos fundadores da universidade. A marca 'Editora UFG' foi iniciada em 1977, a partir da criação de um ramo de publicação encabeçada pelo Professor Joffre Marcondes de Rezende da Faculdade de Medicina.

⁵¹ Essas informações podem ser encontradas na página web <https://www.editora.ufg.br/p/37059-quem-somos>.

A partir de 1977, institui-se uma comissão editorial profissionalmente capaz de gerir a editora, reunida, pela primeira vez, em 30 de março de 1978. O *status* de imprensa universitária foi substituído por Centro Editorial e Gráfico (Cegraf) em 1981. O Professor Rezende foi o primeiro diretor da Editora UFG a partir de 1978. Desde 2019, a editora vem sendo dirigida pelo Professor Anselmo Pessoa Neto.

Os capítulos do livro Mecânica Quântica considerados para a análise foram o 1 e o 2 – ‘Origens da Mecânica Quântica’ e ‘Teoria Quântica – Equação de Onda’, respectivamente. O capítulo 1 contém 17 tópicos, dos quais consideramos apenas dez, e o capítulo 2, 12, mas só consideramos dois. O conteúdo desses capítulos versa sobre a dualidade onda-partícula e os fenômenos e experimentos que servem para reconhecê-la, além de discutir sobre os alcances das descrições fornecidas pelas teorias clássica e quântica.

Os enfoques histórico, conceitual e filosófico desses capítulos são predominantes, contudo, sem deixar de lado o aspecto matemático do conteúdo exposto. Algumas palavras-chave desses capítulos são interferência, polarização, fenômeno ondulatório, partícula material, efeito fotoelétrico, efeito Compton, *quanta*, emissão fotoelétrica, raios X, espalhamento, radiação eletromagnética, pacote de onda, incerteza, difração, ondas harmônicas, complementaridade e outras.

6.2 Análise dos conteúdos dos documentos

Nesta seção, apresentamos a análise dos livros indicados no Quadro 9, que restaram depois que o *corpus* foi submetido aos critérios de exclusão supracitados, de acordo com os elementos da Arquitetura Mítica apresentada no capítulo 2. Além da análise semântica das unidades de registro, ou seja, das mensagens latentes, discutimos sobre a tendência dos conteúdos dos livros em relação à Historiografia da Ciência ou à pseudo-história.

6.2.1 Livro AP-MB

6.2.1.1 Categoria: Monumentalidade

Ao passo que explorávamos o conteúdo desse livro, achamos necessário e conveniente criar quatro subcategorias, uma vez que os excertos selecionados apresentaram afinidades em suas funções linguísticas. Nomeamos cada uma das subcategorias como ineditismo, heroísmo, altruísmo e genialidade. No caso da subcategoria altruísmo, conseguimos associar a ela apenas um trecho.

Os quadros abaixo apresentam as subcategorias acima mencionadas, as unidades de contexto (os trechos selecionados correspondentes) e as unidades de registros destacadas em negrito. Em seguida, apresentamos suas análises de acordo com o episódio do Paradoxo EPR e suas interpretações.

Quadro 10 – Primeira subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro AP-MB

Subcategoria	Unidades de Contexto/Unidade de Registro
Ineditismo	“[...] De acordo com a hipótese dos quanta de luz (fótons) que ele propôs , a luz consiste de quanta (corpúsculos) de energia $h\nu$, que voa pelo espaço como uma chuva de granizo à velocidade da luz ⁵² ” (p. 70).
	“Tendo em vista a ousadia da hipótese de De Broglie, que a matéria deva ser considerada como um processo ondulatório , a questão que surge de imediato, é claro, se e em que a hipótese poderia ser posta a teste de experimento ⁵³ ” (p. 80).
	“Ainda mais impressionante do que o estabelecimento do fato de que os elétrons ao passarem por uma rede cristalina se comportam como ondas, é a descoberta de Stern e os seus colaboradores (1932) de que os <i>raios moleculares</i> (de H ₂ e He) também apresentam fenômenos de difração quando são refletidos nas superfícies dos cristais ⁵⁴ ” (p. 82).

Fonte: Elaborado pelo autor.

À subcategoria ‘ineditismo’ associamos três trechos (Quadro 10), cujas funções linguísticas indicam novidade teórica e conquista individual. No primeiro, destacamos a frase “De acordo com a *hipótese dos quanta de luz (fótons)* que ele propôs”, em que reconhecemos o aspecto de inovação inerente à expressão, assim como a atribuição do feito a apenas um sujeito. Nesse fragmento, Born fazia uma distinção entre os alcances teóricos de Einstein e Planck sobre as propriedades quânticas dos fenômenos de absorção e emissão da radiação.

⁵² “[...] According to the *hypothesis of light quanta (photons)* which he advanced, light consists of quanta (corpuscles) of energy $h\nu$, which fly through space like a hail of shot, with the velocity of light” (BORN, p. 70).

⁵³ “In view of the boldness of de Broglie's hypothesis, that matter is to be regarded as a wave process, the question of course at once suggested itself, whether and in what the hypothesis could be put to the test of experiment” (BORN, 1937, p. 80).

⁵⁴ Still more impressive than the establishment of the fact that electrons when they pass through a crystal lattice behave like waves, is the discovery of Stern and his collaborators (1932) that *molecular rays* (of H₂ and He) also show diffraction phenomena when they are reflected at the surfaces of crystals (BORN, 1937, p. 82).

Chamamos a atenção para a frase “que ele propôs”, por manifestar um caráter individualista do trabalho científico. Em Gil-Pérez *et al.* (2001), esse modo de descrever qualquer empreendimento científico é chamado de visão individualista e elitista da Ciência. Esse tipo de visão caracteriza-se pelo isolamento dos cientistas, pela desconsideração do trabalho coletivo, assim como das trocas entre grupos de investigadores.

[...] Os conhecimentos científicos aparecem como obras de gênios isolados, ignorando-se o papel do trabalho coletivo e cooperativo, dos intercâmbios entre equipes... Em particular faz-se crer que os resultados obtidos por um só cientista ou equipe podem ser suficientes para verificar, confirmando ou refutando, uma hipótese ou toda uma teoria (GIL-PÉREZ *et al.*, 2001, p. 133).

Do segundo trecho, destacamos a frase “deva ser considerada como um processo ondulatório”, que faz alusão ao aspecto inovador das considerações de De Broglie acerca do conceito de ondas de matéria. Em especial, chamamos a atenção para o fragmento “deva ser considerada”, pois revela o caráter inovador das considerações proferidas pelo pesquisador. Também reconhecemos a similaridade dessa asserção com a visão da qual falamos antes caracterizada por Gil-Pérez *et al.* (2001).

Do terceiro excerto, destacamos a frase “é a descoberta de Stern e os seus colaboradores (1932)”, que também se aproxima da visão elitista e individualista. Nela o caráter monumental também reside na novidade de se descobrirem poucos indivíduos e privilegiados contribuidores. A ênfase está no esforço de alguns indivíduos para contribuições grandiosas, contradizendo o que, consensualmente, entendemos como trabalho científico nos dias atuais.

Quadro 11 – Segunda subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro AP-MB

Subcategoria	Unidades de Contexto/Unidade de Registro
Heroísmo	<p>“Einstein (1905), no entanto, foi ainda mais longe do que Planck. Ele não apenas postulou propriedades quânticas para os processos de absorção e emissão de radiação, mas explicou, também, tais propriedades como inerentes à natureza da radiação⁵⁵” (p. 70).</p> <p>“[...] Niels Bohr (1913) fez o grande avanço de elucidar a conexão desses ‘osciladores’ com uma ou outra estrutura do átomo. Ele abandonou a ideia de que</p>

⁵⁵ “Einstein (1905), however, went even further than Planck. He not merely postulated quantum properties for the processes of absorption and emission of radiation, but also explained such properties as inherent in the nature of radiation itself” (BORN, 1937, p. 70).

os elétrons, na verdade, se comportam como osciladores, isto é, que eles estão quase elasticamente ligados⁵⁶ (p. 72).

“Tendo em vista a ousadia da hipótese de De Broglie, que a matéria deva ser considerada como um processo ondulatório, a questão que surge de imediato, é claro, se e em que a hipótese poderia ser posta a teste de experimento⁵⁷” (p. 80).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação à subcategoria ‘heroísmo’, identificamos três trechos (Quadro 11) em que se enfatizam características dos estudiosos além das usuais para qualquer pessoa. Destacamos o primeiro fragmento do texto de Born quase integralmente - “Einstein (1905) [...] foi ainda mais longe do que Planck. Ele não apenas postulou propriedades quânticas para os processos de absorção e emissão de radiação, mas explicou [...] tais propriedades como inerentes à natureza da radiação”.

Frases como “foi ainda mais longe” e “Ele não apenas postulou” caracterizam as capacidades superiores de Einstein, porém as de Planck não, o que confere a Einstein um *status* monumental de alguém que vai além dos esforços dos demais. Os outros dois trechos não têm essa característica de capacidades altamente desenvolvidas, mas apresentam um aspecto de superação que é alcançada por poucos.

Dos fragmentos destacados dos segundo e terceiro trechos destacamos as expressões “Niels Bohr (1913) fez o grande avanço” e “Tendo em vista a ousadia da hipótese de De Broglie”. Comparativamente, reconhecemos a tendência de destacar o esforço individual que cada um empreendeu no intento de validar os seus posicionamentos teóricos. Essas três asserções se equiparam à visão que Gil-Pérez *et al.* (2001) a qual referenciamos acima.

Quadro 12 – Terceira subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro AP-MB

Subcategoria	Unidades de Contexto/Unidade de Registro
Altruísmo	“[...] A elucidação dessas relações devemos a Heisenberg e Bohr (1927) . De acordo com eles, devemos nos perguntar o que depois de tudo isso significa quando falamos da descrição de um processo em termos de ondas ⁵⁸ ” (p. 84).

Fonte: Elaborado pelo autor.

⁵⁶ “[...] Niels Bohr (1913) made the great advance of elucidating the connexion of these ‘oscillators’ with one another and with the structure of the atom. He dropped the idea that the electrons actually behave like oscillators, i.e. (sic) that they are quasi-elastically bound” (BORN, 1937, p. 72).

⁵⁷ “In view of the boldness of de Broglie’s hypothesis, that matter is to be regarded as a wave process, the question of course at once suggested itself, whether and in what the hypothesis could be put to the test of experiment” (BORN, 1937, p. 80).

⁵⁸ “[...] The elucidation of these relationships we owe to Heisenberg and Bohr (1927). According to them we must ask ourselves what after all it means when we speak of the description of a process in terms of corpuscles or in terms of waves” (BORN, 1937, p. 84).

A subcategoria ‘altruísmo’ foi assim nomeada porque nos fala do desaparego e da neutralidade dos estudiosos em determinada investigação. A ela associamos a visão socialmente neutra da Ciência descrita por Gil-Pérez *et al.* (2001). “[...] esquecem-se as complexas relações entre Ciência, tecnologia, sociedade (CTS) e proporciona-se uma imagem deformada dos cientistas como seres ‘*acima do bem e do mal*’, fechados em torres de marfim e alheios à necessidade de fazer opções” (GIL-PÉREZ *et al.*, 2001, p. 133, grifos do autor).

Do trecho apresentado na subcategoria ‘altruísmo’ (Quadro 12), destacamos o fragmento “A elucidação dessas relações devemos a Heisenberg e Bohr (1927)” e chamamos a atenção para o verbo “devemos”. De acordo com o sentido exposto pelo autor, o verbo *dever* revela o sacrifício realizado pelos estudiosos e o senso de agradecimento acrítico que devemos dedicar a eles pelos seus feitos.

Quadro 13 – Quarta subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro AP-MB

Subcategoria	Unidades de Contexto/Unidade de Registro
Genialidade	“[...] o estado das coisas mudou completamente quando no início do Século XIX Young fez a descoberta que, em certas circunstâncias, dois feixes de luz possam enfraquecer um ao outro ⁵⁹ ” (p. 66).
	“[...] Além disso, Compton (1925) e outros conseguiram, com sucesso, produzir interferência de raios-X em grades artificiais também , isso sendo possível em incidência rasante dos raios ⁶⁰ ” (p. 68).
	“ Prova ainda mais evidente do que isso , para a existência dos quanta de luz, é dada pelos experimentos de E. Meyer e W. Gerlach (1914) sobre o efeito fotoelétrico com as partículas pequenas de pó de metal ⁶¹ ” (p. 71).
	“[...] De fato, Einstein provou que esse conceito deve ser ‘relativizado’ , uma vez que dois eventos podem ser simultâneos em um Sistema de referência, mas ocorrerem em momentos diferentes em outro ⁶² ” (p. 84).
	“ Bohr tem o hábito de dizer : os aspectos ondulatórios e corpusculares são <i>complementares</i> . Com isso, ele quer dizer: se provarmos o caráter corpuscular de um experimento, então é impossível, ao mesmo tempo, provar o seu caráter ondulatório, e vice-versa ⁶³ ” (p. 89).

Fonte: Elaborado pelo autor.

⁵⁹ “[...] the state of matters changed completely when at the beginning of the nineteenth century Young made the discovery that in certain circumstances two beams of light can enfeeble each other” (BORN, 1937, p. 66).

⁶⁰ “[...] Moreover, Compton (1925) and others succeeded in producing X-ray interference in artificial gratings also, this being found possible at grazing incidence of the rays” (BORN, 1937, p. 68).

⁶¹ “Evidence even more patent than this, for the existence of light quanta, is given by the experiments of E. Meyer and W. Gerlach (1914) on the photoelectric effect with the small particles of metal dust” (BORN, 1937, p. 71).

⁶² “[...] In point of fact Einstein proved that this concept must be ‘relativized’ since two events may be simultaneous in one system of reference, but take place at different times in another” (BORN, 1937, p. 84).

⁶³ “Bohr is in the habit of saying: the wave and corpuscular views are *complementary*. By this he means: if we prove the corpuscular character of an experiment, then it is impossible at the same time to prove its wave character, and conversely” (BORN, 1937, p. 89).

A subcategoria 'genialidade' exprime a ideia de que os estudiosos conseguem, com facilidade, chegar a conclusões ou fazer críticas sobre os fenômenos físicos sobre os quais se debruçam, ou chegam a resultados incontestáveis e, por essa razão, devem ser seguidos como uma asserção que tem força de lei acriticamente. O primeiro e o quarto excertos do Quadro 13 são semelhantes às conclusões "indubitáveis" às quais Young e Einstein chegaram.

Do primeiro trecho, destacamos a frase "o estado das coisas mudou completamente" e chamamos a atenção para "mudou completamente". Born, ao discutir sobre o dilema das naturezas ondulatórias e corpusculares, menciona a teoria de emissão de Newton e a ondulatória de Huygens e sugere que Young foi o responsável por uma mudança completa na interpretação dos fenômenos de interferência. O que nos chama a atenção aqui é a atribuição de um feito científico a apenas um sujeito, sem mencionar esforços coletivos que podem ter sido empreendidos anteriormente.

No que diz respeito ao conceito de simultaneidade de eventos, Born afirma que Einstein provou que devemos pensar relativamente sobre o que pode ser considerado simultâneo. Destacamos a expressão "de fato", porque reconhecemos o seu valor de verdade em sua afirmação, o que caracteristicamente está associado às personalidades monumentais.

Observando os trechos dois, três e cinco, do quadro anterior, reconhecemos a similaridade semântica no que se refere à facilidade que os estudiosos tiveram para chegar a alguma conclusão. Desses três excertos, destacamos as frases "Compton (1925) e outros conseguiram, com sucesso, produzir interferência de raios-X em grades artificiais também", "Prova ainda mais evidente do que isso [...] é dada pelos experimentos de E. Meyer e W. Gerlach (1914)" e "Bohr tem o hábito de dizer".

Nos três fragmentos anteriores, os processos científicos revelam-se simples e costumeiros para os estudiosos envolvidos. No caso da produção de raios-X, somos levados a pensar numa suposta facilidade em se implementar tal produção em outra configuração experimental, contudo, sem haver alguma distinção entre os procedimentos e as peculiaridades de cada um. Ao relatar a contribuição para a existência dos fótons, a partir do efeito fotoelétrico, Born usou a expressão "Prova ainda mais evidente", revelando capacidades superiores dos contribuidores e certeza inquestionável.

Já ao falar do posicionamento de Bohr sobre os aspectos ondulatórios e corpusculares da natureza dos fenômenos atômicos, Born usou a expressão “tem o hábito”. Esse uso nos conduz a pensar que um cientista elabora teorias por meio de intuição e *insights* que, oportunamente, esclarecem as observações sobre as quais os estudiosos se debruçam. Gil-Pérez *et al.* (2001) denominam esse tipo de visão de concepção empírico-indutivista e ateórica.

É uma concepção que destaca o papel “neutro” da observação e da experimentação (não influenciadas por idéias apriorísticas), esquecendo o papel essencial das hipóteses como orientadoras da investigação, assim como dos corpos coerentes de conhecimentos (teorias) disponíveis, que orientam todo o processo (GIL-PÉREZ *et al.*, 2001, p. 129).

Os trechos analisados até aqui também reforçam desenvolvimentos científicos frutos de esforços individuais ou elitistas (Cf. GIL-PÉREZ *et al.*, 2001), uma vez que há ênfase no que um indivíduo promoveu ou um grupo restrito. Ao quarto trecho também relacionamos uma concepção de neutralidade, pouca relevância da observação e de sua relação com as hipóteses que a norteiam. Tais visões compõem o perfil de descrições monumentais dos cientistas.

6.2.1.2 Categoria: Idealização

Para a categoria ‘idealização’, elaboramos duas subcategorias, assim como fizemos para a categoria ‘Monumentalidade’: simplificação e êxitos. Para a primeira subcategoria, associamos dois trechos, e para a segunda, apenas um. No quadro abaixo, apresentamos suas análises.

Quadro 14 – Primeira subcategoria da categoria ‘Idealização’ para o livro AP-MB

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Simplificação	“[...] Se desejarmos obter fenômenos de interferência com raios-X, então temos que usar uma grade na qual a distância entre as escalas é da ordem de magnitude de $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$. Tais grades são colocadas em nossas mãos pela natureza, como von Laue (1912) mostrou , na forma de cristais, nos quais as distâncias da rede são apenas dessa ordem de magnitude. Se um feixe de raios-X for permitido passar ⁶⁴ ” (p. 68).

⁶⁴ “[...] If then we wish to obtain interference phenomena with X-rays, we have to use a grating in which the distance between the rulings is of the order of magnitude of $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$. Such gratings are put into our hands by nature, as von Laue (1912) has shown, in the shape of crystals, in which the lattice distances are just of this order of magnitude. If a beam X-rays is passed through a crystal, we do in fact obtain interference phenomena” (BORN, 1937, p. 68).

“Do ponto de vista da hipótese do quantum de luz, ambos os resultados podem ser entendidos ao mesmo tempo. Cada quantum de luz atingindo o metal, e colidindo com os seus elétrons, transfere toda a sua energia para o elétron e, assim, o retira do metal⁶⁵” (p. 71).

Fonte: Elaborado pelo autor.

A subcategoria ‘simplificação’ é caracterizada por mensagens que apresentam o desenvolvimento de maneira simplificada, ou seja, quando se desprezam os conflitos envolvidos em algum empreendimento científico e se valorizam os resultados positivos. Assim, o lado da história dos casos é bem-sucedido.

Ao se referir à obtenção de fenômenos de interferência a partir de grades de difração, Born atribui o seu acesso à natureza, não no sentido de observar como tais objetos se manifestam nela, mas como consequência do acaso (primeiro trecho do Quadro 14). Podemos dizer que esse é um caso de simplificação porque o autor não considerou esforços de outras naturezas que os estudiosos podem ter empreendido para reconhecer essas grades. Comparativamente, esse modo de interpretar os desenvolvimentos científicos aproxima-se da visão empírico-indutivista e atórica, assim como da visão aproblemática e a-histórica.

[...] **visão aproblemática e a-histórica** (portanto, **dogmática e fechada**): transmitem-se os conhecimentos já elaborados, sem mostrar os problemas que lhe deram origem, qual foi a sua evolução, as dificuldades encontradas etc., e não dando igualmente a conhecer as limitações do conhecimento científico atual nem as perspectivas que, entretanto, se abrem (GIL-PÉREZ *et al.*, 2001, p. 131, grifos do autor).

Embora não se tenha feito menção direta a algum fato histórico ou personalidade da Ciência, o segundo trecho do Quadro 14 é iniciado dizendo “Do ponto de vista da hipótese do quantum de luz”, o que nos leva a considerar o que historicamente foi construído até então sobre aquela hipótese. Antes desse fragmento, Born fez considerações sobre experimentos que envolvem o efeito fotoelétrico e mencionou alguns pesquisadores envolvidos, como Hertz, Hallwachs, Elster e Geitel.

Do segundo trecho do quadro anterior, destacamos a frase “ambos esses resultados podem ser entendidos ao mesmo tempo”, tratando da dependência entre a velocidade que os elétrons adquiriam, ao serem ejetados de uma superfície metálica, e a intensidade da luz que incidia sobre o metal, contudo, essa velocidade dependia

⁶⁵ “From the standpoint of the light quantum hypothesis, both these results can be understood at once. Every light quantum striking the metal and colliding with one of its electrons hands over its whole energy to the electron, and so knocks it out of the metal” (BORN, 1937, p. 71).

frequência da luz incidente. Ao considerar que ambos os resultados podem ser entendidos ao mesmo tempo, há certa desvalorização da complexidade teórica e epistemológica envolvida em cada etapa do raciocínio, além de desconsiderar os processos individuais de aprendizagem de cada pessoa.

Quadro 15 – Segunda subcategoria da categoria ‘Idealização’ para o livro AP-MB

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Êxitos	<p>“Prova ainda mais evidente do que isso, para a existência dos quanta de luz, é dada pelos experimentos de E. Meyer e W. Gerlach (1914) sobre o efeito fotoelétrico com as partículas pequenas de pó de metal; irradiando-as com luz ultravioleta, fotoelétrons são liberados novamente, de modo que as partículas metálicas se tornem positivamente carregadas. O avanço do caso anterior consiste em que, agora, podemos observar as relações de tempo no processo de carregamento das partículas ao deixá-las suspensas num campo elétrico, assim como no método da gota de Millikan para determinar e, a carga elétrica elementar; uma nova emissão de um fotoelétron é, assim, mostrada pela aceleração causada pelo aumento de carga⁶⁶ (p. 72).</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na subcategoria ‘êxitos’, as conquistas científicas são apresentadas como um acúmulo linear de sucessos e não há espaço para os casos de fracasso (Cf. GIL-PÉREZ *et al.*, 2001). Conquistas pontuais de algum estudioso ou grupo são pontos de partida para grandes transformações num campo de estudo. Esse seria um caso de “boa” história a ser contada, um caso de Ciência indubitável.

[...] o desenvolvimento científico aparece como fruto de um crescimento linear, puramente acumulativo [...], que ignora as crises e as remodelações profundas [...], fruto de processos complexos que não se desejam e deixam moldar por nenhum modelo (pré)definido de mudança científica [...] (GIL-PÉREZ *et al.*, 2001, p. 132).

Ao falar das provas para a existência dos quanta de luz, Born considera que os experimentos de Meyer e Gerlach (1914) promoveram um avanço que, como consequência, nos possibilita observar as relações de tempo no processo de carregamento das partículas. O que nos chama a atenção é a atribuição do avanço a apenas esse caso exitoso, promotor de observações que, até então, não podiam ser realizadas.

⁶⁶ Evidence even more patent than this, for the existence of light quanta, is given by the experiments of E. Meyer and W. Gerlach (1914) on the photoelectric effect with the small particles of metal dust; by irradiating of these with ultra-violet light photoelectrons are again liberated, so that the metallic particles become positively charged. The advance on the previous case consists in this, that we can now observe the time relations in the process of charging the particles, by causing them to become suspended in an electric field, as in Millikan's droplet method for determining e , the elementary electric charge; a fresh emission of a photoelectron is then shown by the acceleration caused by the increase of charge (BORN, 1937, p. 71-72).

6.2.1.3 Categoria: Drama Afetivo

Para a categoria ‘drama afetivo’, elaboramos duas subcategorias: ‘polarização’ e ‘emoção’. À primeira subcategoria relacionamos três trechos, e à segunda, dois. Semanticamente, essas mensagens apresentam os partícipes de algum empreendimento científico, como os que sempre estiveram certos e os que estavam errados sobre algum posicionamento teórico ou procuram engajar os leitores com as conquistas monumentais dos estudiosos. No quadro abaixo, apresentamos suas análises.

Quadro 16 – Primeira subcategoria da categoria ‘Drama afetivo’ para o livro AP-MB

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Polarização	<p>“Enquanto no Século XVIII os físicos quase universalmente aderiram à teoria de emissão de Newton (por volta de 1680), segundo a qual a luz consiste de um agregado de corpúsculos muito pequenos, que são enviados pela fonte de luz, e a teoria ondulatória de Huygens (1690) poderia reivindicar alguns apoiadores (dentre eles o grande matemático Euler), o estado das coisas mudou completamente quando no início do Século XIX Young descobriu que em certas circunstâncias dois feixes de luz podem enfraquecer um ao outro, um fenômeno bastante incapaz de ser explicado por uma teoria corpuscular⁶⁷” (p. 66).</p>
	<p>“Por maior que tenha sido o sucesso das ideias clássicas na interpretação dos fenômenos de interferência, a sua incapacidade de dar conta dos processos de absorção e emissão da radiação é mais impressionante. Aqui, a eletrodinâmica clássica e a Mecânica clássica falham absolutamente⁶⁸” (p. 69).</p>
	<p>“[...] Os resultados das investigações posteriores de Young e Fresnel falaram univocamente em favor da concepção ondulatória de Huygens, pois é impossível explicar os fenômenos de interferência senão pela teoria ondulatória⁶⁹” (p. 66).</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

A subcategoria ‘polarização’ (Quadro 16) apresenta trechos que veiculam mensagens com sentidos de certo e errado de quem sempre teve razão em relação aos que se opunham aos seus posicionamentos assertivos. Aqui, estamos falando das tomadas de partido que um estudioso ou um grupo faz que pode resultar uma boa ou

⁶⁷ “While in the eighteenth century physicists almost universally adhered to Newton’s emission theory (about 1680), according to which light consists of an aggregate of very small corpuscles, which are sent out by the source of light, and the wave theory of Huygens (1690) could claim only a few supporters (among them the great mathematician Euler), the state of matters changed completely when at the beginning of the nineteenth century Young made the discovery that in certain circumstances two beams of light can enfeeble each other, a phenomenon quite incapable of explanation on the corpuscular theory” (BORN, 1937, p. 66).

⁶⁸ “Great as has been the success of classical ideas in the interpretation of interference phenomena, their incapacity to account for the processes of absorption and emission of radiation is no less striking. Here classical electrodynamics and classical mechanics absolutely fail” (BORN, 1937, p. 69).

⁶⁹ “[...] The results of the further investigations of Young and Fresnel spoke unequivocally in favour of the wave conception of Huygens, for it is impossible to explain interference phenomena except by a wave theory” (BORN, 1937, p. 66).

péssima escolha, assim como alguma conquista teórica pode ser vista como melhor ou mais completa do que outras.

Ao falar da polêmica entre os que aderiram à concepção de que a luz é composta por um agregado de corpúsculos e os que apoiaram a interpretação ondulatória, Born polariza a discussão dizendo que houve mais adesão ao primeiro. Destacamos os fragmentos do primeiro trecho do quadro anterior “Enquanto no Século XVIII os físicos quase universalmente aderiram à teoria de emissão de Newton (por volta de 1680)” e “e a teoria ondulatória de Huygens (1690) poderia reivindicar alguns apoiadores (dentre eles o grande matemático Euler)”.

Primeiramente, Born afirmou que a maioria dos físicos da época aderiram à hipótese de Newton. Esse pensamento contrastava com o ínfimo grupo que apoiava a de Huygens. Chamamos a atenção para a frase “dentre eles, o grande matemático Euler”, que evoca a importância e a assertividade inerente ao trabalho de Huygens. No entanto, Born não fez alguma consideração sobre possíveis avanços científicos que podem ter havido nos dez anos citados, entre os períodos de 1680 e 1690, referenciados a Newton e Huygens, respectivamente.

A polarização é confirmada quando Born utiliza os resultados dos experimentos de Young para endossar a teoria ondulatória de Huygens. De um lado, a maioria apoiou uma teoria que não foi tão exitosa ao tentar explicar certa classe de fenômenos; de outro, pouquíssimas pessoas estiveram do lado certo, apoiando a teoria que respondeu corretamente as questões levantadas. Existe, aqui, uma espécie de criação de mártir, aquele que foi mal compreendido e rejeitado.

O segundo trecho do quadro anterior utiliza momentos distintos da teoria clássica para tratar de suas tentativas de responder a problemas diferentes - um tratando de interpretar os fenômenos de interferência, e o outro, dos processos de emissão e absorção da radiação. Os fragmentos que selecionamos que ilustram os desempenhos nessas duas fases são “Por maior que tenha sido o sucesso das ideias clássicas na interpretação dos fenômenos de interferência” e “Aqui, a eletrodinâmica clássica e a Mecânica clássica falham absolutamente”.

Num momento, Born ressalta o sucesso que a teoria clássica teve ao explicar os fenômenos de interferência, mas utiliza o verbo “falhar” para se referir à sua tentativa de responder a questões dos fenômenos de emissão e absorção. Esse verbo demarca os polos nos quais a teoria clássica está em relação às duas classes de fenômenos, dando uma ideia de ultrapassada e incapaz de avançar mais do que pôde.

Esse é mais um caso de uma visão aproblemática e a-histórica do desenvolvimento científico (Cf. GIL-PÉREZ *et at.*, 2001).

No terceiro trecho do Quadro 16 - “Os resultados das investigações posteriores de Young e Fresnel falaram univocamente em favor da concepção ondulatória de Huygens” - Born falou da assertividade inerente ao trabalho dos dois investigadores mencionados. Eles foram capazes de desenvolver inequivocamente meios para responder a questões acerca dos fenômenos de interferência, e outros parecem ter falhado e não atingiram a desejável liderança no pódio da Ciência.

Quadro 17 – Segunda subcategoria da categoria ‘Drama afetivo’ para o livro AP-MB

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Emoção	<p>“[...] Ousada como à primeira vista essa hipótese parece ser, há, no entanto, toda uma série de experimentos que parece, dificilmente, ser possível de explicá-la com a teoria ondulatória, mas que pode ser entendida imediatamente se aceitarmos a hipótese do quantum de luz⁷⁰” (p. 70-71).</p> <p>“Ainda mais impressionante do que o estabelecimento do fato de que os elétrons ao passarem por uma rede cristalina se comportam como ondas, é a descoberta de Stern e os seus colaboradores (1932) de que os <i>raios moleculares</i> (de H₂ e He) também apresentam fenômenos de difração quando são refletidos nas superfícies dos cristais⁷¹” (p. 82).</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

A subcategoria ‘emoção’ (Quadro 17) veicula mensagens com funções apelativas que estimulam o engajamento dos leitores e elaboram enredos memoráveis com o uso de frases de efeito e afirmações fortes. Do primeiro trecho, destacamos os fragmentos “Ousada como à primeira vista essa hipótese parece ser”, que se refere às pretensões da teoria ondulatória ao procurar repostas sobre se um modelo corpuscular se adequaria melhor ao afirmar “mas que pode ser entendida imediatamente se aceitarmos a hipótese do quantum de luz”.

Além de polarizar os alcances de cada modelo teórico, o autor utilizou recursos linguísticos como a palavra “ousada” e a expressão “entendida imediatamente”. Portanto reconhecemos que esses recursos linguísticos podem estimular engajamentos nos leitores e tendência a memorizar através de afirmações com esses valores apelativos.

⁷⁰ “[...] Daring as at first sight this hypothesis appears to be, there is nevertheless a whole series of experiments which seem scarcely possible to explain on the wave theory, but which can be understood at once if we accept the hypothesis of the light quantum” (BORN, 1937, p. 70-71).

⁷¹ Still more impressive than the establishment of the fact that electrons when they pass through a crystal lattice behave like waves, is the discovery of Stern and his collaborators (1932) that *molecular rays* (of H₂ and He) also show diffraction phenomena when they are reflected at the surfaces of crystals (BORN, 1937, p. 82).

Ao tratar do comportamento ondulatório dos elétrons quando passam por uma rede cristalina, em comparação com a descoberta dos raios moleculares, exibindo fenômenos de difração ao serem refletidos em superfícies de cristais, Born também polarizou o discurso e usou recursos que estimulam a emoção dos leitores utilizando as expressões, uma em sequência da outra, “Ainda mais impressionante” e “é a descoberta de Stern e os seus colaboradores (1932)”.

6.2.1.4 Categoria: Narrativa explicativa e de justificação

A categoria ‘Narrativa explicativa e de justificação’ reúne mensagens que funcionam para mostrar os desenvolvimentos científicos como uma sequência bem definida de determinado método científico, sem o qual não se pode chegar a alguma conclusão válida, ou apresenta as finalidades de certas perspectivas teóricas ou procedimentos experimentais. Para essa categoria, elaboramos duas subcategorias - sequenciamento e finalidade - cujas análises são apresentadas a seguir.

Quadro 18 – Primeira subcategoria da categoria ‘Narrativa explicativa e de justificação’ para o livro AP-MB

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Sequenciamento	“[...] Se desejarmos obter fenômenos de interferência com raios-X, então temos que usar uma grade na qual a distância entre as escalas é da ordem de magnitude de $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$. Tais grades são colocadas em nossas mãos pela natureza, como von Laue (1912) mostrou, na forma de cristais, nos quais as distâncias da rede são apenas dessa ordem de magnitude. Se um feixe de raios-X for permitido passar ⁷² ” (p. 68).
	“[...] Seguindo Bragg (1913), podemos interpretá-los [esses fenômenos] como devido aos raios de interferência refletidos em diferentes planos de rede do cristal ⁷³ ” (p. 68).
	“[...] O avanço no caso anterior em que, agora, podemos observar as relações de tempo no processo de carregamento das partículas ao deixá-las suspensas num campo elétrico, assim como no método da gota de Millikan para determinar e , a carga elétrica elementar; uma nova emissão de um fotoelétron é, assim, mostrada pela aceleração causada pelo aumento de carga ⁷⁴ ” (p. 72).

⁷² “[...] If then we wish to obtain interference phenomena with X-rays, we have to use a grating in which the distance between the rulings is of the order of magnitude of $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$. Such gratings are put into our hands by nature, as von Laue (1912) has shown, in the shape of crystals, in which the lattice distances are just of this order of magnitude. If a beam X-rays is passed through a crystal, we do in fact obtain interference phenomena” (BORN, 1937, p. 68).

⁷³ “[...] Following Bragg (1913), we can interpret these as due to interference of the rays reflected at different lattice planes of the crystal” (BORN, 1937, p. 68).

⁷⁴ “[...] The advance on the previous case consists in this, that we can now observe the time relations in the process of charging the particles, by causing them to become suspended in an electric field, as in

“Compton (1922) investigou o espalhamento de raios-X por um bloco de parafina e descobriu que a radiação espalhada num ângulo menor do que 90° possui um grande comprimento de onda do que a radiação primária, de modo que o v' da onda espalhada é menor do que o v da radiação incidente, contrário à previsão da teoria clássica⁷⁵” (p. 75).

Fonte: Elaborado pelo autor.

A subcategoria ‘sequenciamento’ (Quadro 18) sintetiza trechos que apresentam o desenvolvimento científico como uma consequência da aplicação de algum procedimento metodológico. Tomando o caso do primeiro trecho, Born apresentou uma maneira de se obter interferência com raios-X. Para se chegar a esse efeito, foi prescrito um procedimento.

O fragmento “Se desejarmos obter fenômenos de interferência com raios-X, então temos que usar uma grade na qual a distância entre as escalas é da ordem de magnitude de $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$ ” foi enunciado sem qualquer discussão sobre outras possíveis maneiras ou se houve erros até o alcance desse resultado.

Já no segundo trecho - “Seguindo Bragg (1913), podemos interpretá-los [esses fenômenos] como devido aos raios de interferência refletidos em diferentes planos de rede do cristal” - reconhecemos a recomendação de repetição dos passos de Bragg. O ponto central desse trecho é a criação de expectativas quanto aos resultados que serão obtidos, levando-nos a acreditar que a simples tarefa de repetir certos procedimentos nos ajuda a obter resultados precisos.

Do terceiro trecho, destacamos os fragmentos “Podemos observar as relações de tempo”, “ao deixá-las suspensas num campo elétrico, assim como no método da gota de Millikan para determinar e ” e “uma nova emissão de um fotoelétron é, assim, mostrada”. Aqui também há uma indicação de progresso e alcance a partir de sequências específicas afirmados pela metodologia correta.

Assim como no terceiro trecho, o fragmento considerado do quarto trecho nos leva a perceber que há uma tendência a ligar o produto de um empreendimento científico a um processo em especial. Do fragmento “Compton (1922) investigou o espalhamento de raios-X por um bloco de parafina e descobriu que a radiação espalhada

Millikan's droplet method for determining e , the elementary electric charge; a fresh emission of a photoelectron is then shown by the acceleration caused by the increase of charge (BORN, 1937, p. 72).

⁷⁵ “Compton (1922) investigated the scattering of X-rays by a block of paraffin, and found that the radiation scattered at an angle of less than 90° possesses a greater wave-length than the primary radiation, so that the v' of the scattered wave, contrary to the prediction of the classical theory, is smaller than the v of the incident radiation” (BORN, 1937, p. 75).

num ângulo menor do que 90° possui um grande comprimento de onda do que a radiação primária”, destacamos o objeto utilizado por Compton, o bloco de parafina e sua descoberta da radiação espalhada a um ângulo de 90°.

Comparamos esse modo de descrever o desenvolvimento científico com a visão rígida (algorítmica, exata e infalível), relativamente ao que Gil-Pérez *et al.* (2001) descrevem, por ter havido exposições de desenvolvimento científico sem se discutir sobre outras questões e erros envolvidos nos experimentos e nas sequências lógicas.

[...] Apresenta-se o “método científico” como um conjunto de etapas a seguir mecanicamente. Por outro lado, destaca-se o que se supõe ser um tratamento quantitativo, controle rigoroso etc., esquecendo - ou, inclusive, recusando - tudo o que se refere à criatividade, ao carácter tentativo, à dúvida (GIL-PÉREZ *et al.*, 2001, p. 130).

Além da comparação anterior, reconhecemos características aproblemáticas e a-históricas das exposições feitas por Born, uma vez que não foram apresentados as motivações científicas e os contextos de utilização de alguns procedimentos experimentais, assim como a relação entre as hipóteses e esses instrumentos.

Quadro 19 – Segunda subcategoria da categoria ‘Narrativa Explicativa e de Justificação’ para o livro AP-MB

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Finalidade	“[...] Experimentos exatos mostraram que a velocidade dos elétrons emergentes não depende, como pode-se a esperar, da intensidade da luz , mas que apenas o seu número aumenta à medida que a luz se torna mais forte, o número sendo, de fato, proporcional à intensidade da luz. A velocidade dos fotoelétrons depende apenas da frequência ν da luz ⁷⁶ ” (p. 71).
	“[...] Mas o experimento quando executado provou, pelo contrário, que a emissão de fotoelétrons começa imediatamente com a irradiação iniciada – um resultado que é claramente ininteligível, exceto com base na ideia de que a luz consiste de um aglomerado de quanta de luz que pode arrancar um elétron no momento que eles atingem uma partícula do metal ⁷⁷ ” (p. 72).
	“ Outra confirmação direta da teoria de Bohr , sobre a existência de dos níveis de discretos de energia no átomo, é dada pelo experimento pelos experimentos de Franck e Hertz (1914) ⁷⁸ ” (p. 73).

⁷⁶ “[...] Exact experiments have shown that the velocity of the emergent electrons does not depend, as one might at first expect, on the intensity of the light; but that only their number increases as the light becomes stronger, the number being in fact proportional to the intensity of the light. The velocity of the photoelectrons depends only on the frequency ν of the light” (BORN, 1937, p. 71).

⁷⁷ “[...] But the experiment when carried out proved on the contrary that the emission of photoelectrons set in immediately the irradiation began – a result which is clearly unintelligible except on the basis of the idea that light consists of a hail of light quanta, which can knock out an electron the moment they strike a metal particle” (BORN, 1937, p. 72).

⁷⁸ “A further direct confirmation of Bohr’s theory on the existence of discrete energy levels in the atom is given by the experiments of Franck and Hertz (1914)” (BORN, 1937, p. 73).

“[...] Foi possível separar um feixe de moléculas de velocidade quase uniforme com a ajuda de um dispositivo similar ao arranjo para medir a velocidade da luz: duas rodas dentadas girando no mesmo eixo⁷⁹” (p. 82).

Fonte: Elaborado pelo autor.

A subcategoria ‘finalidade’ reúne trechos que falam das funções de certos experimentos ou raciocínios lógicos, afirmando suas relevâncias para consolidar certas conclusões. Para compreender a relação entre a velocidade que os elétrons adquirem ao serem ejetados de placas de metal e a intensidade da luz, Born afirmou: “Experimentos exatos mostraram que a velocidade dos elétrons emergentes não depende, como pode-se esperar, da intensidade da luz”. Suas conclusões foram asseguradas a partir do uso de “experimentos exatos”.

Outros casos de experimentos com a finalidade de provar ou assegurar alguma conclusão encontramos nos segundo e terceiro trechos, em especial, nos fragmentos “Mas o experimento quando executado provou, pelo contrário, que a emissão de foto-elétrons começa imediatamente com a irradiação iniciada” e “Outra confirmação direta da teoria de Bohr [...] é dada pelo experimento pelos experimentos de Franck e Hertz (1914)”, respectivamente. A execução do experimento, nesse tipo de interpretação, nos conduz a alguma compreensão conclusiva ou prova de hipóteses e teorias.

De maneira mais detalhada, Born explica como “Foi possível separar um feixe de moléculas de velocidade quase uniforme com a ajuda de um dispositivo similar ao arranjo para medir a velocidade da luz”, a partir de um aparto composto de “duas rodas dentadas girando no mesmo eixo”. Nesse caso, como nos anteriores, os dispositivos com finalidades bem definidas são mencionados sem que haja muita discussão nos detalhes e as circunstâncias em que esses experimentos foram realizados.

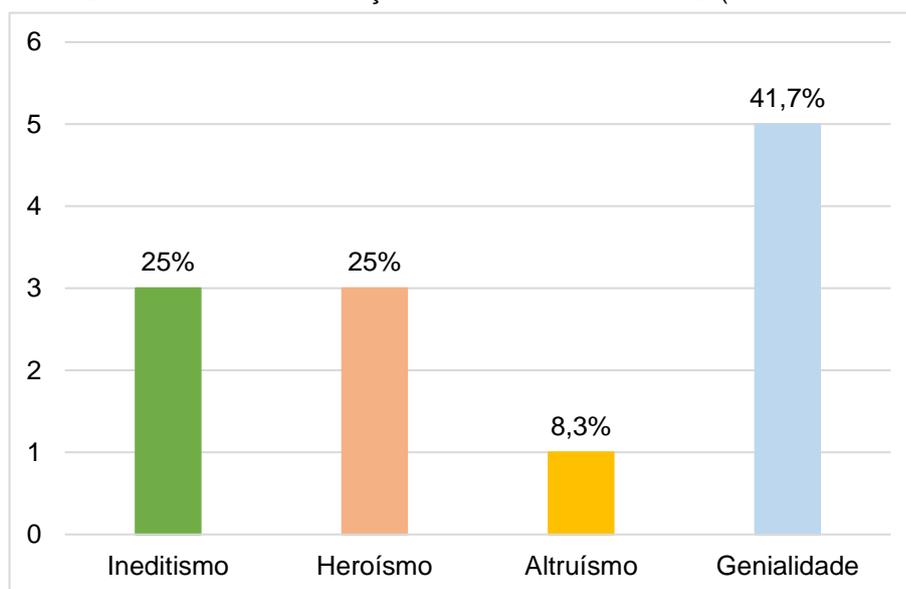
Podemos associar tal modo de apresentar o desenvolvimento científico a algumas visões que são definidas por Gil-Pérez *et al.* (2001): concepção empírico-indutivista e atórica, visão rígida (algorítmica, exata, infalível), visão aproblemática e a-histórica e visão acumulativa de crescimento linear.

6.2.1.5 Discussão e interpretação dos dados de AP-MB

⁷⁹ “[...] It was possible to separate a beam of molecules of nearly uniform velocity with the help of a device similar to the arrangement for measuring the velocity of light: two toothed wheels rotating on the same axis (BORN, 1937, p. 82).

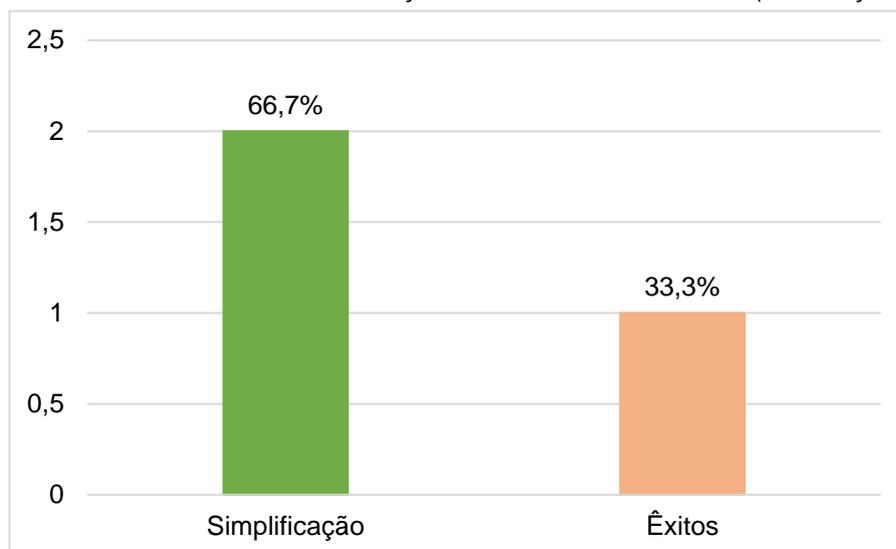
Para a categoria 'Monumentalidade', foram extraídos 12 trechos, distribuídos da seguinte maneira (o Gráfico 2 apresenta seus percentuais): ineditismo (3), heroísmo (3), altruísmo (1) e genialidade (5). A última subcategoria foi a que mais concentrou excertos e revelou uma tendência de descrição dos cientistas como sujeitos possuidores de inteligências fora do comum, inigualáveis, no sentido de que são características inatas desses sujeitos, prerrogativas de poucos.

Gráfico 2 – Tendência de descrição dos cientistas de AP-MB (Monumentalidade)



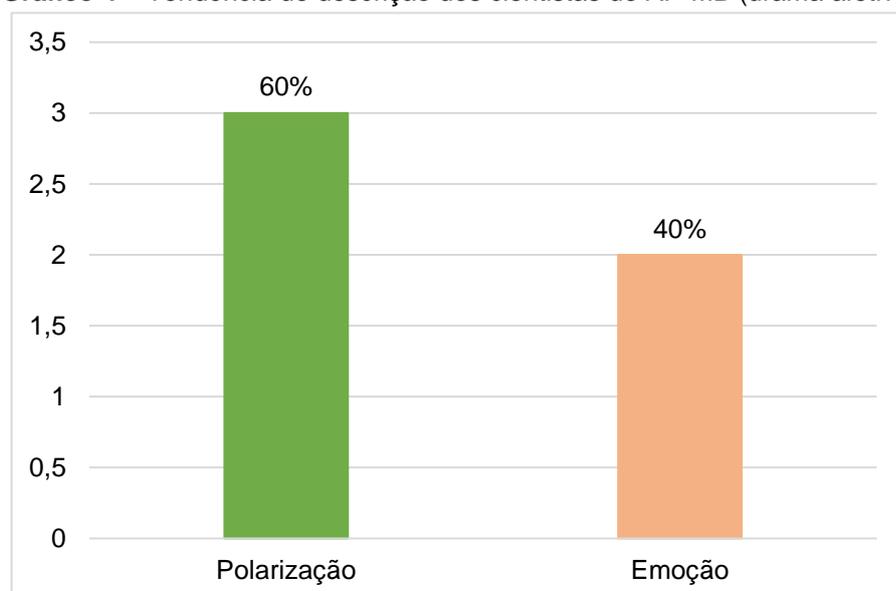
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a categoria 'Idealização', foram extraídos três trechos, distribuídos da seguinte maneira (veja o Gráfico 3): simplificação (2) e êxitos (1). O aspecto simplificador foi o que demonstrou mais ocorrência. O livro mostrou uma tendência a omitir fatos que representem obstáculos para o progresso científico. Logo, apenas os êxitos são valorizados nesse tipo de descrição.

Gráfico 3 – Tendência de descrição dos cientistas de AP-MB (idealização)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Cinco trechos foram associados à categoria drama afetivo e distribuídos entre as subcategorias polarização (3) e emoção (2). O Gráfico 4 apresenta os percentuais equivalentes a essa distribuição. A característica ‘polarizante’ foi predominante nessa categoria e levou o leitor a reconhecer a diferença entre a teoria certa e a errada e os partícipes da construção do conhecimento científico como uma disputa entre “mocinhos” e “vilões”.

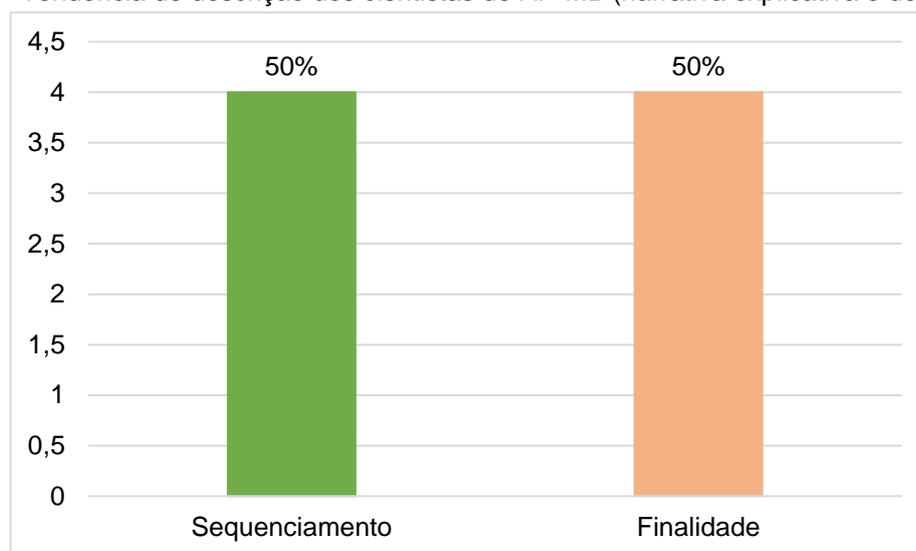
Gráfico 4 – Tendência de descrição dos cientistas de AP-MB (drama afetivo)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Já na categoria ‘Narrativa Explicativa e de Justificação’, os oito excertos identificados foram distribuídos simetricamente nas subcategorias ‘sequenciamento’ (4) e

‘finalidade’ (4). Proporcionalmente (Gráfico 5), o conteúdo apresentado no documento tende a apresentar o desenvolvimento científico como um encadeamento metodológico preciso, e os resultados, como produtos de processos específicos. Esse modo de apresentar o conhecimento científico nos faz pensar em metodologias rígidas e algorítmicas, o que se mostra como uma das visões equivocadas em Gil-Pérez *et al.* (2001).

Gráfico 5 – Tendência de descrição dos cientistas de AP-MB (narrativa explicativa e de justificação)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao episódio abordado no capítulo, o autor não discute diretamente sobre os eventos que levaram ao debate protagonizado pelo grupo de Bohr e Einstein sobre a completude da MQ e de efeitos a distância. Em síntese, consideramos que o livro AP-MB tende a privilegiar algumas personalidades, colocando-as como grandes gênios, e simplifica os fatos ao mostrar os resultados como produtos de métodos infalíveis, assim como a apresentação dos êxitos em detrimento dos fracassos e dos conflitos. No entanto, quando surgem conflitos ou embates, a descrição tende a polarizar no sentido de indicar vencedores e perdedores, bons e maus, e todo o empreendimento científico é tido como uma sequência correta, com finalidades bem definidas.

Essa tendência à descrição histórica é caracterizada por Martins (2001), que discute sobre os tipos de história da Ciência praticados no decorrer de algumas décadas. Em especial, nas primeiras décadas do Século XX, havia uma valorização de descrição de figuras monumentais, assim como a expectativa por métodos sem falhas.

Até as primeiras décadas do Século XX o desenvolvimento da Ciência ainda era visto como o resultado do trabalho dos “grandes cientistas” que, através de um método científico infalível, conduzia à derrubada das idéias erradas de seus predecessores ou adversários. Um desses grandes heróis era Galileu (MARTINS, 2001, p. 26).

A partir das ocorrências de conteúdos que se enquadram na Arquitetura Mítica, consideramos que o documento em questão veicula pseudo-história. Apesar de chegarmos a essa conclusão, em alguns momentos, o autor também apresenta outras visões, como a incerteza sobre o método científico no trecho “[...] Se a hipótese de Bohr estiver correta, um átomo excitado tem abertas a ele várias maneiras possíveis de voltar ao estado fundamental, perdendo energia em forma de radiação” (BORN, 1937, 73)⁸⁰, ou concorrência teórica em “O dilema foi ainda mais intensificado quando, em 1925, De Broglie propôs a hipótese de que o mesmo dualismo de onda e corpúsculo, que está presente na luz, também pode ocorrer na matéria⁸¹” (BORN, 1937, p. 77).

6.2.2 Livro FP-ER

6.2.2.1 Categoria: Monumentalidade

Assim como para o livro anterior, também fomos levados a categorizar as mensagens desse documento nas quatro subcategorias criadas anteriormente, com exceção da subcategoria ‘altruísmo’. Assim, são apresentadas análises para mensagens categorizadas em ineditismo, heroísmo e genialidade. Mais uma vez, à subcategoria ‘altruísmo’ só foi associado um extrato do documento em questão.

Quadro 20 – Primeira subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro FP-ER

Subcategoria	Unidades de Contexto/Unidade de Registro
Ineditismo	“[...] A data de sua apresentação é considerada como sendo a do nascimento da física quântica , embora só um quarto de Século mais tarde a mecânica quântica moderna, base de nossa concepção atual da natureza, tenha sido desenvolvida por Schroedinger e outros” (p. 19).
	“[...] Hertz descobriu que uma descarga elétrica entre dois eletrodos ocorre mais facilmente quando se faz incidir sobre um deles luz ultravioleta ” (p. 51).

⁸⁰ “[...] If Bohr’s hypothesis is correct, an excited atom has open to it various possible ways of falling back to the ground state by giving up energy as radiation” (BORN, 1937, 73).

⁸¹ “The dilemma was still further intensified, when in 1925 de Broglie propounded the hypothesis that the same dualism of wave and corpuscle as is present in light may also occur in matter” (BORN, 1937, p. 77).

“[...] Em vez disso, **Einstein propôs que a energia radiante está quantizada em pacotes concentrados**, que mais tarde vieram a ser chamados *fótons*” (p. 54).

“**Os raios X, assim chamados por seu descobridor Roentgen porque sua natureza era então desconhecida**, são radiações eletromagnéticas com comprimento de onda menor que aproximadamente $1,0 \text{ \AA}$ ” (p. 67).

“[...] **Foi Einstein quem sugeriu que $\overline{\mathcal{E}^2}$** , que na teoria eletromagnética é proporcional à energia radiante contida em uma unidade de volume, **poderia ser interpretado como uma medida do número médio de fótons por unidade de volume**” (p. 95).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Do Quadro 20, destacamos os fragmentos dos trechos 1, 3, 4 e 5, respectivamente, “A data de sua apresentação é considerada como sendo a do nascimento da física quântica”, “Einstein propôs que a energia radiante está quantizada em pacotes concentrados”, “Os raios X, assim chamados por seu descobridor Roentgen porque sua natureza era então desconhecida” e “Foi Einstein quem sugeriu que $\overline{\mathcal{E}^2}$ [...] poderia ser interpretado como uma medida do número médio de fótons por unidade de volume”.

No sentido de estabelecer novos paradigmas e os rumos da Ciência, os trechos evocam a prerrogativa de inovação e novidade protagonizadas unicamente pelas personalidades que os autores apresentaram. Essa maneira de referenciar as conquistas científicas privilegia visões individualistas e elitistas (Cf. Gil-Pérez *et al.*, 2001), contrárias a concepções de uma construção que acontece coletivamente.

O trecho 2 do Quadro 20, “Hertz descobriu que uma descarga elétrica entre dois eletrodos ocorre mais facilmente quando se faz incidir sobre um deles luz ultravioleta”, descreve um momento em que um cientista faz uma descoberta sem mencionar os possíveis contribuidores que trabalharam para a culminância de tal feito. Além de apresentar uma imagem individualista e elitista, esse tipo de descrição caracteriza um aspecto de Ciência aproblemática e a-histórica (Cf. Gil-Pérez *et al.*, 2001).

Quadro 21 – Segunda subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro FP-ER

Subcategoria	Unidades de Contexto/Unidade de Registro
Heroísmo	<p>“Planck introduziu essa constante em seu artigo de 1900, quando tentava explicar as propriedades observadas da radiação térmica” (p. 19).</p> <p>“[...] Esses dados foram obtidos em 1914 por Millikan, cujo árduo trabalho no efeito fotoelétrico valeu-lhe o prêmio Nobel em 1923. Devido ao fato do (sic) efeito fotoelétrico ser basicamente um fenômeno de superfície para a luz na região do visível ou próximo, é necessário nas experiências evitar-se <i>filmes de óxidos</i>, gorduras e outros contaminantes de superfícies” (p. 53).</p>

“Em 1905 Einstein colocou em questão a teoria clássica da luz, propôs uma nova teoria, e citou o efeito fotoelétrico como uma aplicação que poderia testar qual teoria estava correta” (p. 54).

“Foi Elsasser quem mostrou, em 1926, que a natureza ondulatória da matéria poderia ser testada da mesma forma que a natureza ondulatória dos raios X havia sido, ou seja, fazendo-se com que um feixe de elétrons de energia apropriada iniciada sobre um sólido cristalino. Os átomos do cristal agem como um arranjo tridimensional de centros de difração para a onda eletrônica, espalhando fortemente os elétrons em certas direções características, exatamente como na difração de raios X (p. 88-89).

“[...] O esforço foi bem recompensado: Em 1925 Erwin Schroedinger desenvolveu sua teoria da mecânica quântica. Embora seja uma generalização do postulado de de Broglie, a teoria de Schroedinger é sob alguns aspectos bem diferente da velha teoria quântica” (p. 161).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os trechos 1, 2 e 5 do Quadro 21 revelam esforços quase sobre-humanos para se alcançar o objetivo pretendido. Dos excertos mencionados, indicamos os fragmentos “Planck introduziu essa constante [...] quando tentava explicar as propriedades”, “Esses dados foram obtidos em 1914 por Millikan, cujo árduo trabalho no efeito fotoelétrico valeu-lhe o prêmio Nobel em 1923”, “O esforço foi bem recompensado: Em 1925 Erwin Schroedinger desenvolveu sua teoria da *mecânica quântica*” e chamamos a atenção para as expressões “quando tentava explicar”, “cujo árduo trabalho” e “O esforço foi bem recompensado”, pois ratificam o sentido heroico intencionado no texto.

Do terceiro trecho, destacamos o fragmento “Em 1905 Einstein colocou em questão a teoria clássica da luz, propôs uma nova teoria”, que ressalta a capacidade monumental de apenas de um sujeito “fragilizar” as bases de um ramo de conhecimento. Enredos como esse, quando são expostos isoladamente, podem nos fazer acreditar que algum gênio, desconectado de certo contexto científico, social, econômico e político, consegue propor teorias do nada e desfazer um trabalho de toda uma geração.

Recorrentemente, encontramos a individualização de feitos científicos expressa no quarto trecho (Quadro 21) em “Foi Elsasser quem mostrou, em 1926, que a natureza ondulatória da matéria poderia ser testada da mesma forma que a natureza ondulatória dos raios X havia sido”. Para essa afirmação, foi considerado o trabalho experimental realizado por Elsasser, no entanto, não foi feita alguma consideração a respeito de outros elementos inerentes ao trabalho científico, como a utilização de um corpo de conhecimentos previamente construídos, participação de outros cientistas, dentre outros.

Quadro 22 – Quarta subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro FP-ER

Subcategoria	Unidades de Contexto/Unidade de Registro
Genialidade	<p>“[...] Planck associou a energia a uma dada frequência da radiação de corpo negro à energia de um elétron na parede oscilando senoidalmente com a mesma frequência, e ele postulou apenas que a energia da partícula oscilante é quantizada. Somente mais tarde foi que Planck aceitou a idéia de que as próprias ondas eletromagnéticas eram quantizadas, e o postulado foi ampliado de forma a incluir qualquer ente cuja coordenada oscilasse senoidalmente” (p. 42).</p>
	<p>“[...] Einstein, cuja profunda visão do eletromagnetismo e da mecânica estatística talvez fosse inigualável nessa época, viu como resultado do trabalho de Planck a necessidade de uma reformulação completa na estatística e eletromagnetismo clássicos. Ele formulou previsões e interpretações de muitos fenômenos físicos que foram mais notavelmente confirmados pelas experiências” (p. 42).</p>
	<p>“Einstein não concentrou sua atenção na forma ondulatória familiar com que a luz se propaga, mas sim na maneira corpuscular com que ela é emitida e absorvida” (p. 55).</p>
	<p>“Em 1921 Einstein recebeu o Prêmio Nobel por ter previsto teoricamente a lei do efeito fotoelétrico. Antes que Millikan validasse experimentalmente essa lei em 1914, Einstein foi indicado para membro da Academia Prussiana de Ciências por Planck e outros” (p. 57).</p>
	<p>“É interessante notar que J. J. Thomson, que em 1897 descobriu o elétron (por ele caracterizado como uma partícula que tinha uma razão entre carga e massa definida) e recebeu o Prêmio Nobel em 1906, era o pai de G. P. Thomson, que, em 1927, descobriu experimentalmente a difração do elétron e recebeu (juntamente com Davisson) o Prêmio Nobel em 1937” (p. 92).</p>
<p>“A ligação entre os modelos corpuscular e ondulatório é feita por meio de uma interpretação probabilística da dualidade onda-partícula. No caso da radiação, foi Einstein quem unificou as teorias ondulatória e corpuscular; a seguir, Max Born aplicou um argumento semelhante para unificar as teorias ondulatória e corpuscular” (p. 95).</p>	

Fonte: Elaborado pelo autor.

No que diz respeito à realização de procedimentos aparentemente simples, “detentores” de grandes intelectos conseguem promover grandes feitos. Esse caso está retratado nos trechos 1 e 3 (Quadro 22) dos fragmentos “Planck associou a energia a uma dada frequência da radiação de corpo negro à energia de um elétron [...] e ele postulou apenas que a energia da partícula oscilante é quantizada. Somente mais tarde foi que Planck aceitou a idéia de que as próprias ondas eletromagnéticas eram quantizadas” e “Einstein não concentrou sua atenção na forma ondulatória familiar [...], mas sim na maneira corpuscular”.

Do trecho 1, destacamos o fato de Planck ter associado a energia à frequência e ter conseguido postular a quantização da energia da partícula. Os autores abordaram esse ponto num tópico sobre história da física quântica, não ultrapassando uma página, falando do comportamento do elétron nas paredes de um corpo negro e sua

interação com a radiação eletromagnética, mencionando os nomes de Rayleigh e Jeans e os seus argumentos nessa temática. A frase “Somente mais tarde foi que Planck aceitou a ideia” nos dá a impressão de uma suposta sorte no trabalho científico.

Do trecho 3, chamamos a atenção para a expressão “forma ondulatória familiar”, porque nos parece fazer referência ao que é corriqueiro, cotidiano, e Einstein foi aquele que conseguiu olhar para outra direção. O problema não é a capacidade de algum estudioso enxergar o que outros não enxergam, mas a individualização da observação ou do feito, sem considerar outras variáveis associadas ao que o cientista chega.

Os trechos 2, 4 e 6 descrevem capacidades altamente elevadas de Einstein, pois ele conseguiu prever a lei do efeito fotoelétrico, unificar as teorias ondulatória e corpuscular e ter uma profunda visão do eletromagnetismo e da mecânica estatística. Como pudemos ver no capítulo 3, Einstein se opunha à interpretação oferecida pela Mecânica Quântica no contexto científico e histórico do ano de 1935, procurando apresentar suas falhas e incompletudes.

Destacamos o fragmento “É interessante notar que J. J. Thomson, que em 1897 descobriu o elétron [...] era o pai de G. P. Thomson, que, em 1927, descobriu experimentalmente a difração do elétron” do trecho 5. O que nos chama a atenção nele é o uso do verbo “descobrir”, pois não notamos alguma intenção dos autores de expor o contexto de descoberta de ambos os personagens, mas de enuncia-los como figuras monumentais. Nem sempre esse tipo de diálogo é feito com más intenções, mas pode produzir ou reforçar concepções equivocadas do trabalho científico.

6.2.2.2 Categoria: Idealização

Além das subcategorias ‘simplificação’ e ‘êxitos’, também categorizamos as mensagens na subcategoria ‘generalização’, com apenas um trecho associado a ela. Assim como a palavra sugere, a subcategoria ‘generalização’ caracteriza trechos cujas mensagens remetem a conclusões que são levadas aos casos gerais, que são ampliadas de casos individuais a gerais.

Quadro 23 – Primeira subcategoria da categoria ‘Idealização’ para o livro FP-ER

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Simplificação	“Assim como a teoria da relatividade [...], a física quântica representa uma generalização da física clássica, que inclui as leis clássicas como casos especiais.

Assim como a relatividade estende o campo de aplicação das leis físicas para a região de grandes velocidades, **a física quântica estende esse campo à região de pequenas dimensões**; e, assim como uma constante universal de significação fundamental, a velocidade da luz c , caracteriza a relatividade, também uma constante universal de significação fundamental, **a chamada constante de Planck h , caracteriza a física quântica**” (p. 19).

“[...] **A dualidade evidente na natureza onda-partícula da radiação não é mais considerada tão estranha, porque agora se sabe que isto é uma característica geral de todos os entes físicos.** Iremos ver que prótons e elétrons, por exemplo, têm a mesma natureza dual dos fótons. Também veremos que é possível conciliar a existência de aspectos ondulatórios com a existência de aspectos corpusculares, para qualquer um desses entes, com auxílio da mecânica quântica” (p. 67).

“**Niels Bohr resumiu a situação em seu princípio da complementaridade.** Os modelos corpuscular e ondulatório são complementares; se uma medida prova o caráter ondulatório da radiação ou da matéria, então é impossível provar o caráter corpuscular na mesma medida, e vice-versa. A escolha de que modelo usar é determinada pela natureza da medida. Além disso, nossa compreensão da radiação ou da matéria está incompleta a menos que levemos em consideração tanto as medidas que revelem os aspectos ondulatórios quanto as que revelem os aspectos corpusculares. **Portanto, radiação e matéria não são apenas ondas ou apenas partículas**” (p. 95).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nos fragmentos “a física quântica representa uma generalização da física clássica” e “a física quântica estende esse campo à região de pequenas dimensões” do trecho 1 do Quadro 23, a teoria quântica é tomada como uma teoria geral, que engloba a teoria clássica, sem levar em consideração as gêneses epistemológicas de cada uma. Sobre o episódio abordado no capítulo 3, podemos reconhecer o dilema estabelecido ao encarar fenômenos clássicos e quânticos. Então, sugere abandono de conceitos que funcionam no domínio clássico, mas que, no domínio quântico, incorre em incerteza. Um deles é o conceito de causalidade, comum nas teorias de campo.

No caso do trecho 2, o fragmento “A dualidade evidente na natureza onda-partícula da radiação não é mais considerada tão estranha, porque agora se sabe que isto é uma característica geral de todos os entes físicos” tem um caráter simplificador, porque desconsidera os desdobramentos teóricos que aconteceram até que tal concepção fosse aceita. Quase anacronicamente, há uma sugestão de que físicos de uma época anterior consideravam a natureza dual da radiação estranha, no entanto, sem fazer críticas ao estado do conhecimento sobre a temática no momento em questão.

O terceiro excerto - “Niels Bohr resumiu a situação em seu *princípio da complementaridade*. [...] Portanto, radiação e matéria não são apenas ondas ou apenas partículas” - aborda o conceito de complementaridade exposto por Bohr na década de

30 do Século XX. O parágrafo no qual se faz tal exposição diz do que trata o conceito, contudo, não faz menção às disputas protagonizadas por quem afirmava a incompletude da teoria quântica (geralmente, Einstein encabeçava esse grupo) e por quem defendia a capacidade que a teoria quântica tinha de descrever os fenômenos atômicos.

Quadro 24 – Segunda subcategoria da categoria 'Idealização' para o livro FP-ER

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Êxitos	<p>“Foi em 1886 e 1887 que Heinrich Hertz realizou as experiências que pela primeira vez confirmaram a existência de ondas eletromagnéticas e a teoria de Maxwell sobre a propagação da luz” (p. 51).</p> <p>“[...] De uma análise muito mais cuidadosa desses e de outros dados, inclusive dados obtidos com superfícies de lítio, Millikan achou o valor $h = 6,57 \times 10^{-34} \text{ j.s}$, com uma precisão de aproximadamente 0,5%. Essa medida estava bem próxima do valor de h deduzido da fórmula da radiação de Planck” (p. 56).</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao enfatizar os resultados, corre-se o risco de fazer uma descrição idealizada dos processos científicos, como podemos ver nos fragmentos “Foi em 1886 e 1887 que Heinrich Hertz realizou as experiências que pela primeira vez confirmaram” e “De uma análise muito mais cuidadosa desses e de outros dados [...] Millikan achou o valor $h = 6,57 \times 10^{-34} \text{ j.s}$ ” dos primeiro e segundo trechos, respectivamente, do Quadro 24.

Nesse tipo de construção, a intenção é de apresentar os resultados científicos como uma coleção, um acúmulo de conquistas, o que sugere que a Ciência tem um sentido bem definido, um sentido linear. Gil-Pérez *et al.* (2001) também discutem sobre esse tipo de perspectiva do trabalho científico que pode ser encontrado nas salas de aula de Ciências e ser criado e reforçado se veicularem discursos como o aqui exposto.

Quadro 25 – Terceira subcategoria da categoria 'Idealização' para o livro FP-ER

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Generalização	<p>“[...] Somente mais tarde foi que Planck aceitou a idéia de que as próprias ondas eletromagnéticas eram quantizadas, e o postulado foi ampliado de forma a incluir qualquer ente cuja coordenada oscilasse senoidalmente” (p. 42).</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Existem discursos que sugerem que uma conquista pontual pode oferecer uma interpretação geral para um conjunto de fenômenos e o fragmento “e o postulado foi ampliado de forma a incluir qualquer ente cuja coordenada oscilasse senoidalmente”

exemplifica o que afirmamos. Não duvidamos do potencial e do alcance de conquistas científicas. Todavia, a forma como se descrevem os processos científicos pode interferir nas visões que os leitores podem ter delas e dos processos científicos.

6.2.2.3 Categoria: *Drama Afetivo*

Além das subcategorias ‘polarização’ e ‘emoção’, categorizamos as mensagens na subcategoria ‘discurso de autoridade’. Essa terceira subcategoria reuniu mensagens com o sentido do que é indiscutível, do que não podemos duvidar já que tem um fundo de verdade e certeza proferido por grandes personalidades. A subcategoria ‘discurso de autoridade’ foi a que mais concentrou trechos dentre as três.

Quadro 26 – Primeira subcategoria da categoria ‘Drama afetivo’ para o livro FP-ER

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Polarização	“[...] Planck acreditava que a energia eletromagnética, uma vez irradiada, se espalhava pelo espaço da mesma forma que ondas de água se espalham na água. Em vez disso, Einstein propôs que a energia radiante está quantizada em pacotes concentrados , que mais tarde vieram a ser chamados <i>fótons</i> ” (p. 54).
	“ Compton (e independentemente de Debye) interpretou seus resultados experimentais postulando que o feixe de raios X incidente não era uma onda de frequência ν , mas um conjunto de fótons, cada um com energia $E = h\nu$, e que esses fótons colidiam com os elétrons livres do alvo da mesma forma que colidem duas bolas de bilhar” (p. 60).
	“[...] Um modelo mais geral e, para a mentalidade clássica, mais complicado, é necessário para descrever seu comportamento , embora em situações extremas possa ser aplicado um modelo ondulatório simples, ou um modelo corpuscular simples” (p. 95).
	“[...] Portanto, uma hipótese naturalmente feita pelos físicos clássicos foi que para sistema microscópicos, a posição e o momento de um objeto, por exemplo um elétron, poderiam de maneira análoga ser determinados de forma precisa pelas observações. Heisenberg e Bohr questionaram essa hipótese ” (p. 97).
	“[...] Os físicos falavam de intervalos de comprimento e intervalos de tempo, isto é, de espaço e tempo, sem se perguntarem criticamente como se poderia medi-los na realidade . Por exemplo, falavam da simultaneidade de dois eventos separados sem se perguntarem ao menos como alguém poderia fisicamente estabelecer uma simultaneidade ” (p. 98).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nos fragmentos “Planck acreditava que a energia eletromagnética, uma vez irradiada, se espalhava pelo espaço” e “Em vez disso, Einstein propôs que a energia radiante está quantizada em pacotes concentrados”, do trecho 1 do Quadro 26, os autores discutem sobre a natureza dos elementos envolvidos no efeito fotoelétrico. Ao

discorrer sobre essa questão, eles parecem definir níveis de importância para os papéis desempenhados pelas interpretações de Planck e Einstein.

No segundo trecho, chamamos a atenção para o advérbio “independentemente”, do fragmento, “Compton (e independentemente de Debye) interpretou seus resultados experimentais postulando que o feixe de raios X incidente não era uma onda de frequência ν ”. Entendemos que esse modo de expressar a interpretação de Compton sugere uma polarização entre seu alcance e o apoio que outros poderiam lhe oferecer.

Já no fragmento do terceiro excerto, “Um modelo mais geral e, para a mentalidade clássica, mais complicado, é necessário para descrever seu comportamento”, os autores sugerem que uma interpretação dual da radiação e da matéria é complicada para os físicos clássicos, no entanto, sem discutir sobre as diferenças epistemológicas entre as interpretações clássicas e as quânticas. Esse também é o caso apresentado no quarto trecho.

De um lado, tem-se “uma hipótese naturalmente feita pelos físicos clássicos foi que para sistema microscópicos, a posição e o momento de um objeto, por exemplo um elétron, poderiam de maneira análoga ser determinados”, os físicos clássicos pareciam não enxergar além das previsões “clássicas”; de outro, “Heisenberg e Bohr questionaram essa hipótese”, os contribuidores da teoria quântica facilmente percebem as diferenças. Nesse ponto, o que criticamos é a falta de demarcação entre os alcances das visões clássica e quântica.

Do quinto trecho, ressaltamos o fragmento “Os físicos falavam de intervalos de comprimento e intervalos de tempo [...] sem se perguntarem criticamente como se poderia medi-los na realidade. [...], falavam da simultaneidade de dois eventos separados sem se perguntarem ao menos como alguém poderia fisicamente estabelecer uma simultaneidade”, o qual denota que pode haver a indicação de um tipo de ingenuidade que os físicos clássicos tinham, diferentemente dos físicos quânticos, porque suas afirmações eram isentas de crenças, como na interpretação de distância e tempo.

Quadro 27 – Segunda subcategoria da categoria ‘Drama afetivo’ para o livro FP-ER

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Emoção	“Numa reunião da Sociedade Alemã de Física, a 14 de dezembro de 1900, Max Planck apresentou seu artigo ‘Sobre a Teoria da Lei de Distribuição de Energia

do Espectro Normal'. **Esse artigo, que a princípio atraiu pouca atenção, foi o início de uma revolução na física**" (p. 19).

"Em princípio, Planck não estava certo se sua introdução de h era apenas um artifício matemático ou algo de significado físico mais profundo. Numa carta a R. W. Wood, **Planck chamou seu postulado limitado de 'um ato de desespero'**. 'Eu sabia', escreveu, 'que o problema (do equilíbrio entre matéria e radiação) é de fundamental significado para a física; eu sabia a fórmula que reproduz a distribuição de energia no espectro normal; uma interpretação teórica tinha que ser encontrada a qualquer custo, não interessando quão alto"' (p. 42).

"Foi durante esse período de dúvida que Planck foi editor do jornal alemão *Annalen der Physik*. Em 1905, ele recebeu o primeiro artigo de Einstein sobre a relatividade, e defendeu vigorosamente esse trabalho. Depois disso, tornou-se um dos patronos do jovem Einstein em círculos científicos, mas resistiu durante algum tempo às idéias emitidas por Einstein sobre a teoria quântica da radiação, que mais tarde confirmaram e estenderam o próprio trabalho de Planck" (p. 42).

"[...] É um desses fatos paradoxais e fascinantes na história da Ciência que Hertz tenha notado, no decorrer de suas experiências, **o efeito que Einstein mais tarde usou para contradizer outros aspectos da teoria eletromagnética clássica**" (p. 51).

"A natureza corpuscular da radiação foi dramaticamente confirmada em 1923 pelas experiências de Compton. Ele fez com um feixe de raios X de comprimento de onda λ incidisse sobre um alvo de grafite, como é mostrado na figura 2-5. Mediu-se a intensidade dos raios X espalhados como função de seu comprimento de onda, para vários ângulos de espalhamento. A figura 2-6 mostra seus resultados experimentais" (p. 59).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando os destaques do trecho 1 - "a 14 de dezembro de 1900, Max Planck apresentou seu artigo [...]. Esse artigo, que a princípio atraiu pouca atenção, foi o início de uma revolução na física" - do Quadro 27, reconhecemos aspectos que servem para envolver os leitores a partir de elementos do 'drama afetivo', como as frases "atraiu pouca atenção" e "início de uma revolução". Tais elementos criam expectativas emocionais nos leitores e os levam de um estado de apreensão à surpresa.

Do fragmento "Em princípio, Planck não estava certo se sua introdução de h era apenas um artifício matemático ou algo de significado físico mais profundo. [...] Planck chamou seu postulado limitado de 'um ato de desespero'", destacamos a expressão "um ato de desespero", que nos leva a imaginar uma situação em que o cientista, através de uma brilhante contingência, foi capaz de postular uma grandeza física. Imaginamos o nível de estímulos emocionais que essa expressão pode causar nos leitores que se deparam com ela.

Para complementar o comentário anterior, trazemos à baila as frases "período de dúvida", "defendeu vigorosamente" e "tornou-se um dos patronos" do terceiro trecho do Quadro 27. Em essência, elas podem conseguir engajar os leitores por suas

funções emocionais no enredo construídos pelos autores, que lhes conferem uma propriedade característica do drama afetivo.

Esse também é o caso dos próximos trechos do mesmo quadro: “É um desses fatos paradoxais e fascinantes na história da Ciência que Hertz tenha notado [...], o efeito que Einstein mais tarde usou para contradizer outros aspectos da teoria eletromagnética clássica” e “A natureza corpuscular da radiação foi dramaticamente confirmada em 1923 pelas experiências de Compton”, através das palavras “paradoxais”, “fascinantes” e “dramaticamente”.

Quadro 28 – Terceira subcategoria da categoria ‘Drama afetivo’ para o livro FP-ER

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Discurso de autoridade	“[...] A atitude negativa inicial perante a hipótese do fóton é revelada por eles em sua declaração, elogiando Einstein , na qual escreveram: ‘Em resumo, podemos dizer que dificilmente haverá um grande problema , dos quais a física moderna é tão rica, ao qual Einstein não tenha dado uma importante contribuição . Que ele tenha algumas vezes errado o alvo em suas especulações, como por exemplo em sua hipótese dos quanta de luz (fótons), não pode ser realmente colocado contra ele, pois é impossível introduzir idéias fundamentalmente novas, mesmo nas Ciências mais exatas, sem ocasionalmente correr um risco” (p. 57).
	“ O processo de espalhamento dos fótons no qual não há mudança em seu comprimento de onda é chamado espalhamento Thomson, em homenagem a um físico que desenvolveu por volta de 1900 uma teoria clássica de espalhamento de raios X por átomos” (p. 64).
	“[...] Foi Albert Einstein quem reconheceu sua importância e validade , e por sua vez chamou a atenção de outros físicos para elas. Cinco anos mais tarde, de Broglie recebeu o Prêmio Nobel em Física , tendo sido suas idéias dramaticamente confirmadas por experiências” (p. 87).
	“[...] Os átomos do cristal agem como um arranjo tridimensional de centros de difração para a onda eletrônica, espalhando fortemente os elétrons em certas direções características, exatamente como na difração de raios X. Essa idéia foi confirmada por experiências feitas por Davisson e Germer nos Estados Unidos e por Thomson na Escócia” (p. 89).
	“ O estudante pode aceitar a lógica dessa fusão dos conceitos de onda e partícula , mas ainda assim perguntar se se faz necessária uma interpretação estatística ou probabilística. Foram Heisenberg e Bohr quem, em 1927, pela primeira vez mostraram quão essencial era o conceito de probabilidade para a união das descrições ondulatória e corpuscular da matéria e radiação” (p. 97).
“[...] De acordo com Heisenberg e Bohr, no entanto, a interpretação probabilística é fundamental em mecânica quântica, e deve-se abondar o determinismo ” (p. 97).	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao relatar o ingresso de Einstein na Academia Prussiana de Ciências, os autores expuseram a rejeição de alguns de sua hipótese do fóton e ressaltaram a aprovação da Academia: “A atitude negativa inicial perante a hipótese do fóton é revelada por eles em sua declaração, elogiando Einstein [...]: podemos dizer que dificilmente

haverá um grande problema, ao qual Einstein não tenha dado uma importante contribuição”. Usamos como demarcação da utilização de autoridade o verbo “elogiando” associado à ação da Academia.

Do segundo trecho, destacamos o fragmento “O processo de espalhamento dos fótons [...] é chamado *espalhamento Thomson*, em homenagem a um físico que desenvolveu por volta de 1900”, em que os autores referenciaram um tipo de espalhamento ao físico Thomson, aparentemente, com a intenção de lhe conferir *status* de confiabilidade. Essa mesma característica, além da autoridade que o nome carrega, encontramos no terceiro excerto “Foi Albert Einstein quem reconheceu sua importância e validade [...]. Cinco anos mais tarde, de Broglie recebeu o Prêmio Nobel em Física”, pois associa o prestígio recebido por Planck ao reconhecimento conferido por Einstein.

Os trechos 4 e 5 apresentam as ideias de confirmação a partir de experimentos e da demonstração de determinados cientistas das quais não se pode duvidar. Deles, destacamos os fragmentos “Essa idéia foi confirmada por experiências feitas por Davison e Germer” e “O estudante pode aceitar a lógica dessa fusão dos conceitos de onda e partícula [...]. Foram Heisenberg e Bohr quem, em 1927, pela primeira vez mostraram quão essencial era o conceito de probabilidade para a união das descrições”.

Já o sexto trecho expõe a força e a autoridade dos cientistas ao afirmar que não deixemos de considerar um ponto de vista teórico. Em “De acordo com Heisenberg e Bohr, no entanto, a interpretação probabilística é fundamental em mecânica quântica, e deve-se abandonar o determinismo”, temos essa certeza ao considerar a menção dos nomes dos físicos e a utilização dos verbos “devemos” e “abandonar”.

6.2.2.4 Categoria: *Narrativa Explicativa e de Justificação*

Nesse documento, relacionamos os conteúdos às subcategorias ‘sequenciamento’ e ‘finalidade’, como realizamos anteriormente. A segunda subcategoria foi a que mais concentrou trechos, e suas análises são apresentadas a seguir.

Quadro 29 – Primeira subcategoria da categoria ‘Narrativa explicativa e de justificação’ para o livro FP-ER

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
--------------	---

Sequenciamento

“[...] **Lenard, seguindo alguns experimentos de Hallwachs, mostrou logo em seguida que a luz ultravioleta facilita a descarga** ao fazer com que elétrons sejam emitidos da superfície do catodo” (p. 51).

“A natureza corpuscular da radiação foi dramaticamente confirmada em 1923 pelas experiências de Compton. **Ele fez com um feixe de raios X de comprimento de onda λ incidisse sobre um alvo de grafite**, como é mostrado na figura 2-5. **Mediu-se a intensidade dos raios X espalhados como função de seu comprimento de onda, para vários ângulos de espalhamento.** A figura 2-6 mostra seus resultados experimentais” (p. 59).

“Enquanto a experiência de Davisson-Germer é semelhante à de Laue para a difração de raios X (reflexão em um arranjo regular de planos atômicos em um grande monocristal), a experiência de Thomson é semelhante ao método de Debye-Hull-Scherrer de difração de raios X por uma substância pulverizada (transmissão através de um agregado de cristais muito pequenos orientados ao acaso). **Thomson utilizou elétrons de alta energia, pois são muito mais penetrantes, de forma que centenas de planos atômicos contribuem para a onda difratada.** A figura de difração resultante tem uma estrutura bem pronunciada” (p. 92).

“[...] **Usando luz de intensidade tão baixa** que se poderia afirmar que os fótons atravessavam o aparelho de difração um de cada vez, **ele obteve, após uma exposição muito longa, uma figura de difração. Depois, aumentando a intensidade até os níveis normais**, onde muitos fótons atravessam o aparelho ao mesmo tempo, **ele obteve a mesma figura de difração.** Mais tarde essencialmente a mesma experiência foi repetida com elétrons e outras partículas materiais” (p. 112).

Fonte: Elaborado pelo autor.

No primeiro trecho, é possível reconhecer a sugestão de que um resultado teórico foi obtido logo após a repetição de experimentos específicos. Dele, destacamos o fragmento “Lenard, seguindo alguns experimentos de Hallwachs, mostrou logo em seguida que a luz ultravioleta facilita a descarga” e chamamos a atenção para a expressão “mostrou logo em seguida”. Isoladamente, ela pode sugerir que resultados podem ser obtidos apenas realizando experimentos, sem a necessidade de criticar e planejar suas possíveis mudanças e refletir sobre elas.

Ao tratar da confirmação da natureza corpuscular realizada por Compton, os autores expõem uma sequência experimental que justifica a “dramática” conquista, afirmando que “Ele fez com um feixe de raios X de comprimento de onda λ incidisse sobre o alvo de grafite [...]. Mediu-se a intensidade dos raios X espalhados como função de seu comprimento de onda, para vários ângulos de espalhamento”. O esquema (figura 2-5) e o gráfico da intensidade em função do comprimento (figura 2-6), apresentadas pelos autores estão nas páginas 59 e 60, respectivamente.

Os próximos trechos (3 e 4) enfatizam sequências específicas e resultados precisos, caracterizados nos fragmentos “Thomson utilizou elétrons de alta energia, pois são muito mais penetrantes, de forma que centenas de planos atômicos contribuem

para a onda difratada” e “Usando luz de intensidade tão baixa [...] ele obteve, após uma exposição muito longa, uma figura de difração. Depois, aumentando a intensidade até os níveis normais, [...] ele obteve a mesma figura de difração”. Essas descrições sugerem que os resultados científicos podem ser obtidos de maneira quase algorítmica a todo tempo e descaracterizar os processos próprios da Ciência.

Quadro 30 – Segunda subcategoria da categoria ‘Narrativa Explicativa e de Justificação’ para o livro FP-ER

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Finalidade	<p>“Numa reunião da Sociedade Alemã de Física, a 14 de dezembro de 1900, Max Planck apresentou seu artigo ‘Sobre a Teoria da Lei de Distribuição de Energia do Espectro Normal’. Esse artigo, que a princípio atraiu pouca atenção, foi o início de uma revolução na física. [...] Diversos caminhos convergiam nessa concepção, cada um deles mostrando um dos aspectos onde falhava a física clássica” (p. 19).</p> <p>“[...] Aparentemente, o que finalmente o convenceu da correção e do profundo significado de sua hipótese quântica foi o fato dessa hipótese levar a uma formulação mais exata da terceira lei da termodinâmica e do conceito estatístico de entropia” (p. 42).</p> <p>“Vejam agora como a hipótese de Einstein resolve as três objeções levantadas contra a interpretação ondulatória do efeito fotoelétrico. Quanto à objeção 1 (o fato de que K_{max} não depende da intensidade da iluminação). [...] A objeção 2 (a existência de um limiar de frequências). [...] A objeção 3 (a ausência de retardamento)” (p. 55-56).</p> <p>“Experiências posteriores (feitas por Compton, Simon, Wilson, Bothe, Geiger e Blass) detectaram o elétron atingido no processo, mostraram que ele aparecia simultaneamente com o raio X espalhado, e confirmaram quantitativamente a previsão para a sua energia e direção do espalhamento” (p. 63).</p> <p>“Em 1927, G. P. Thomson mostrou a difração de feixes de elétrons ao passar através de filmes finos e confirmou detalhadamente, de forma independente, a relação de $\lambda = h/p$” (p. 92).</p> <p>“Lembremos que Einstein introduziu uma granulosidade para a radiação, abandonando a interpretação contínua de Maxwell. Isto leva a uma interpretação estatística da intensidade. Nessa interpretação, uma fonte pontual de radiação emite fótons ao acaso em todas as direções” (p. 95).</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

No sentido de objetivar a validação ou invalidação de alguma descrição teórica, os autores, no fragmento “Diversos caminhos convergiam nessa concepção, cada um deles mostrando um dos aspectos onde falhava a física clássica”, do primeiro trecho do Quadro 30, expõem o objetivo latente do artigo de Planck, que é de invalidar as leis clássicas para descrever os fenômenos atômicos.

O segundo trecho - “foi o fato dessa hipótese levar a uma formulação mais exata da terceira lei da termodinâmica e do conceito estatístico de entropia” - fala da aceitação da constante h por Planck já que ela serviu para precisar uma das leis da

termodinâmica. E como essa hipótese, a princípio, foi chamada de “ato de desespero”, sua “relevância” concretiza-se quando ela consegue se “encaixar” num corpo teórico já estabelecido.

No sentido de preencher lacunas teóricas, o fragmento “Vejam agora como a hipótese de Einstein resolve as três objeções levantadas contra a interpretação ondulatória do efeito fotoelétrico”, do terceiro trecho, conduz-nos a vislumbrar a situação em que o cientista, de modo proposital, procura estabelecer hipóteses tentando trazer esclarecimentos outrora inexistentes. Não queremos insinuar que cientistas realizem suas pesquisas sem interesses ou que as façam sem críticas.

Em se tratando de aparatos experimentais usados para se chegar a algum resultado, o fragmento “Experiências posteriores (feitas por Compton, Simon, Wilson, Bothe, Geiger e Blass) detectaram o elétron atingido no processo [...] e confirmaram quantitativamente a previsão para a sua energia e direção do espalhamento”, do quarto excerto, exemplifica esse caso. Ainda a respeito do papel de certos experimentos em resultados cruciais, o quinto trecho, no destaque “Em 1927, G. P. Thomson mostrou a difração de feixes de elétrons ao passar através de filmes finos”, também afirma nosso argumento.

No fragmento “Lembremos que Einstein introduziu uma granulosidade para a radiação [...] Isto leva a uma interpretação estatística da intensidade”, do sexto trecho, percebemos que o ato de introduzir alguma variável a uma interpretação teórica possibilita o abandono de alguma outra hipótese e o alcance de resultados precisos. Sua inserção objetiva caracterizar os feitos realizados pelo cientista.

6.2.2.5 Discussão e interpretação dos dados de FP-ER

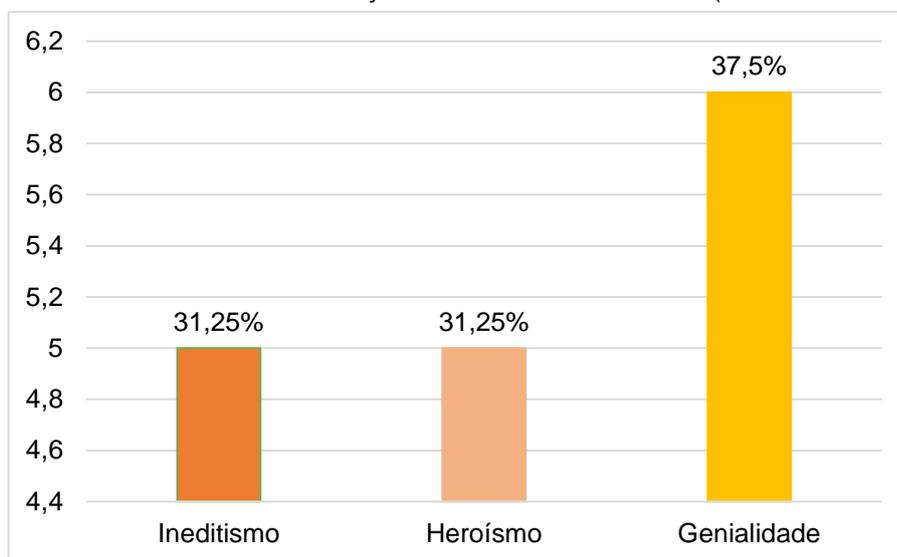
A exploração desse documento nos possibilitou perceber que não há uma abordagem histórica nos moldes da historiografia da Ciência, uma vez que esse não é o campo de atuação dos autores. Existem menções a pontos do episódio que apresentamos no capítulo 3, como os conceitos de complementaridade e incerteza, no entanto, sem apresentar as tensões históricas e teóricas que compuseram os acontecimentos relacionados ao tema.

De modo geral, caracterizamos as descrições históricas do documento como uma imagem em “preto e branco”, termo cunhado por Allchin (2002). Houve a relevância de aspectos essenciais dos momentos abordados, omitindo-se os conflitos, as

teorias e os cientistas concorrentes (num sentido de que os conflitos são potenciais geradores de avanços científicos). Esse aspecto pode ser justificado pelo período que os autores produziram seu documento, marcado por dois momentos de intensos conflitos - a Segunda Guerra Mundial e o recente fim da Guerra Fria.

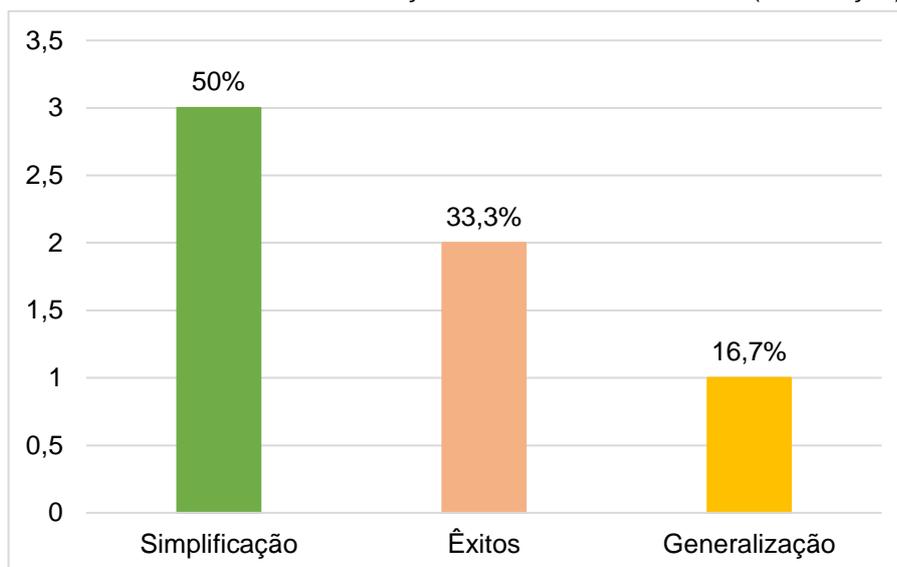
Sobre a distribuição de trechos nas subcategorias, na categoria 'Monumentalidade', tivemos a seguinte configuração: ineditismo (5), heroísmo (5) e genialidade (6). De acordo com esses números, entendemos que os cientistas tendem a descrever como figuras geniais inteligências que vão além das capacidades comuns a outros seres humanos. O Gráfico 6 apresenta os percentuais de cada uma das subcategorias.

Gráfico 6 – Tendência de descrição dos cientistas de FP-ER (monumentalidade)



Fonte: Elaborado pelo autor.

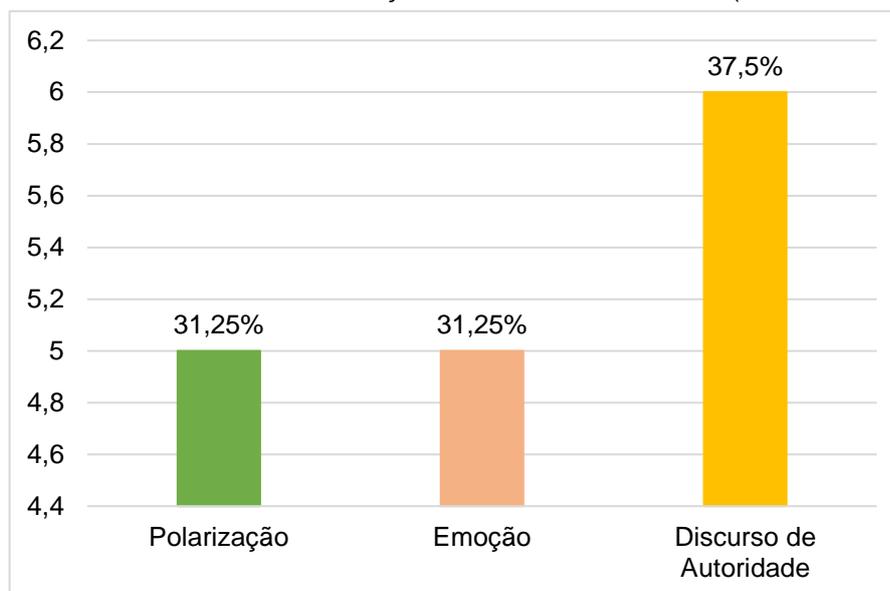
Para a categoria 'idealização', a distribuição dos trechos, por subcategoria, assumiu a seguinte configuração: simplificação (3), êxitos (2) e generalização (1). Isso nos diz que há uma tendência a se omitirem os conflitos teóricos e que se preza pela descrição da "boa" história, aquela em que os êxitos são privilegiados em detrimento dos "fracassos". Esse dado confirma o que já afirmamos no início deste tópico. O Gráfico 7 expõe os percentuais de cada um dos valores apresentados.

Gráfico 7 – Tendência de descrição dos cientistas de FP-ER (idealização)

Fonte: Elaborado pelo autor.

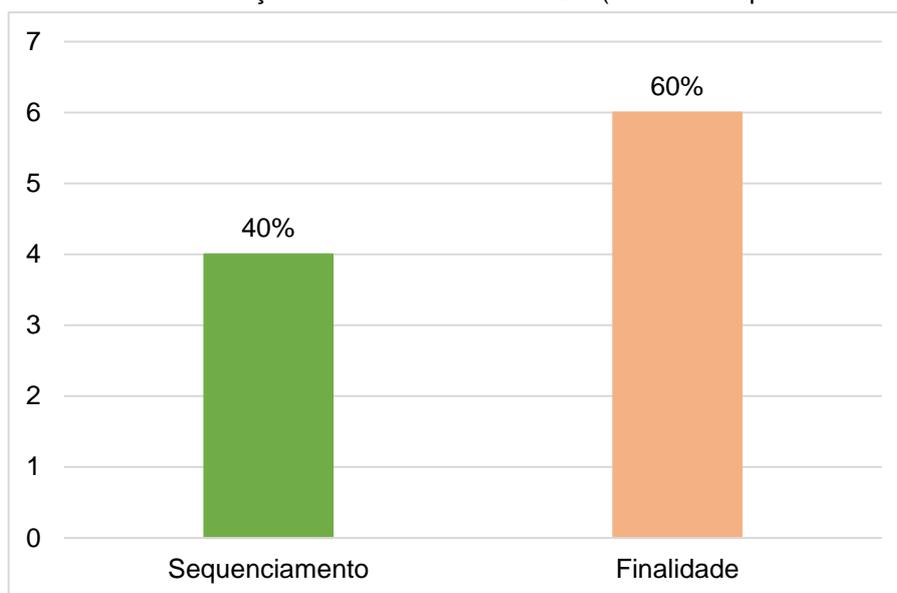
As subcategorias da categoria ‘drama afetivo’ apresentaram a seguinte distribuição: polarização (5), emoção (5) e discurso de autoridade (6). O valor indica a tendência de discurso de essência dogmática, de valor inquestionável. Nesse sentido, nós, como “espectadores”, temos que aceitar as afirmações sem duvidar de suas validades ou questioná-las.

Esse aspecto pode ser justificado pelo uso de fontes primárias, como nesta passagem em que é citada a fala de um dos membros da Academia de Ciências Prusiana: “[...] Em resumo, podemos dizer que dificilmente haverá um grande problema, dos quais a física moderna é tão rica, ao qual Einstein não tenha dado uma importante contribuição” (EISBERG; RESNICK, 1994, p. 57). O caráter dogmático dessa visão é discutido por Gil-Pérez *et al.* (2001). O Gráfico 8 mostra os percentuais de cada subcategoria.

Gráfico 8 – Tendência de descrição dos cientistas de FP-ER (Drama Afetivo)

Fonte: Elaborado pelo autor.

A distribuição dos trechos nas subcategorias da categoria 'narrativa explicativa e de justificação' teve a seguinte configuração: sequenciamento (4) e finalidade (6). Nesse sentido, reconhecemos que há uma tendência a caracterizar os produtos e os processos científicos como resultados de aplicações diretas de variáveis específicas, hipóteses, procedimentos experimentais, dentre outros elementos. Esses objetos seriam os meios para os fins, construídos com finalidades bem definidas. Esse modo de enxergar os andamentos da Ciência pode ser entendido como uma visão rígida, algorítmica, exata e infalível, como referem Gil-Pérez *et al.* (2001). O Gráfico 9 apresenta os percentuais dos valores apresentados para as subcategorias referentes à 'Narrativa Explicativa e de Justificação'.

Gráfico 9 – Tendência de descrição dos cientistas de FP-ER (narrativa explicativa e de justificação)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em síntese, pelas ocorrências encontradas nesse documento, consideramos que o livro FP-ER usa elementos pseudo-históricos quando procurou fazer descrições históricas em seu conteúdo. Isso se justifica pelas áreas de especialização dos autores e pelos públicos-alvo de suas produções, majoritariamente alunos de Cursos de Física e Engenharias. Mesmo quando há utilização de fontes primárias, seus usos são para validar discursos de autoridade e garantir a confiabilidade das informações prestadas.

Os autores descrevem os cientistas como personalidades “geniais” e tendem a simplificar os fatos, apresentando apenas os pontos considerados relevantes e positivos, usando discursos de autoridade, como as falas dos próprios cientistas através do uso de fontes primárias, para prender a atenção dos leitores, e apresentam os processos e os produtos científicos interligados a partir de finalidades bem definidas.

6.2.3 Livro FM-TL

6.2.3.1 Categoria: Monumentalidade

Para essa categoria, os trechos identificados foram associados a três subcategorias: ineditismo, altruísmo e genialidade. A subcategoria ineditismo foi a que concentrou mais trechos, seguida da subcategoria genialidade. Suas subseqüentes análises são apresentadas a seguir.

Quadro 31 – Primeira subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro FM-TL

Subcategoria	Unidades de Contexto/Unidade de Registro
Ineditismo	<p>“É uma das grandes ironias da história da Ciência que no famoso experimento, realizado em 1887, no qual Hertz produziu e detectou ondas eletromagnéticas, confirmando assim a teoria ondulatória da luz de Maxwell, tenha sido observado também, pela primeira vez, o efeito fotoelétrico, que levou diretamente à descrição da luz em termos de partículas” (p. 87).</p> <p>“Novos indícios de que o modelo dos fótons estava correto foram fornecidos por Compton, que mediu a difração de raios X por elétrons livres e, analisando os resultados, dirimiu as últimas dúvidas com relação à relatividade restrita” (p. 91).</p> <p>“Em 1924, um estudante francês de pós-graduação, Louis de Broglie, propôs em sua tese de doutorado que o dualismo onda-partícula, até então reconhecido apenas no caso das ondas eletromagnéticas, era também uma propriedade da matéria, e em especial dos elétrons. Essa sugestão era altamente especulativa, já que não havia na época nenhum indício experimental do caráter ondulatório dos elétrons ou de qualquer outra partícula” (p. 128).</p> <p>“Esse efeito foi observado pela primeira vez em 1927 por Davisson e Germer, que estavam estudando a reflexão de elétrons em um alvo de níquel no Bell Telephone Laboratories e não tinham conhecimento nem da proposta de Elsasser nem da hipótese de De Broglie” (p. 130).</p> <p>“Uma demonstração das propriedades ondulatórias de elétrons relativísticos foi feita no mesmo ano por G. P. Thomson, que observou a passagem de elétrons com energias na faixa de 10 a 40 keV por folhas metálicas delgadas (G. P. Thomson, filho de J. J. Thomson, dividiu com Davisson o prêmio Nobel de Física de 1937). O arranjo experimental (Fig. 5-8a) era semelhante ao usado para obter figuras de Laue usando raios X (veja Fig. 3-14)” (p. 133).</p> <p>“As propriedades ondulatórias de átomos e moléculas foram demonstradas pela primeira vez em 1930 por Stern e Estermann, que usaram um cristal de fluoreto de lítio para difratar feixes de átomos de hélio e moléculas de hidrogênio” (p. 133).</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os fragmentos “no qual Hertz produziu e detectou ondas eletromagnéticas” e “tenha sido observado também, pela primeira vez, o efeito fotoelétrico” do primeiro trecho, do Quadro 31, sugerem um aspecto inovador e propício à descoberta, uma vez que Hertz foi capaz de observar, de modo quase fortuito, o efeito fotoelétrico através de um experimento para detectar outra entidade física. Um sentido semelhante pode ser visto em “Esse efeito foi observado pela primeira vez em 1927 por Davisson e Germer” e “não tinham conhecimento nem da proposta de Elsasser nem da hipótese de de Broglie”, fragmentos do quarto trecho.

Considerando um sentido de se instituir alguma interpretação nova e mudar os rumos científicos, podemos reconhecer essa intenção dos autores nos fragmentos “Novos indícios de que o modelo dos fótons estava correto foram fornecidos por Compton” e “dirimiu as últimas dúvidas com relação à relatividade restrita”, do segundo

trecho. Esse mesmo sentido pode ser encontrado no terceiro trecho, nos fragmentos destacados.

As frases em destaque, do terceiro trecho, “propôs em sua tese de doutorado que o dualismo onda-partícula”, “era também uma propriedade da matéria, e em especial dos elétrons” e “já que não havia na época nenhum indício experimental do caráter ondulatório dos elétrons ou de qualquer outra partícula”, sugerem que o trabalho de De Broglie foi o responsável por introduzir novos conceitos a respeito da dualidade onda-partícula, sem apresentar outros possíveis pesquisadores sobre a temática.

Levando em conta o sentido de poder de demonstração, os fragmentos “Uma demonstração das propriedades ondulatórias de elétrons relativísticos foi feita no mesmo ano por G. P. Thomson” e “As propriedades ondulatórias de átomos e moléculas foram demonstradas pela primeira vez em 1930 por Stern e Estermann”, do quinto e do sexto trechos, respectivamente, ilustram essa afirmação. Eles trazem realizações e novidades científicas, de modo individualizado, protagonizadas por alguns nomes consagrados da Ciência, desconsiderando outros fatores e atores do processo.

Quadro 32 – Segunda subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro FM-TL

Subcategoria	Unidades de Contexto/Unidade de Registro
Altruísmo	“A descoberta inesperada do efeito fotoelétrico incomodou Hertz porque interferia na sua pesquisa principal, mas o cientista reconheceu imediatamente que se tratava de um fenômeno muito importante e interrompeu todos os outros trabalhos durante seis meses para estudá-lo mais de perto . Seus resultados, publicados naquele mesmo ano, foram complementados por outros pesquisadores” (p. 88).

Fonte: Elaborado pelo autor.

No fragmento “interrompeu todos os outros trabalhos durante seis meses para estudá-lo mais de perto”, do trecho do Quadro 32, vê-se um cientista que se sacrifica e deixa os próprios interesses em prol de algo maior e mais importante. Esse desprendimento - atitudes “nobres” - é uma característica dos sujeitos monumentais, passível de ser encontrada em descrições da arquitetura dos mitos.

Esse tipo de descrição está em consonância com a visão socialmente neutra da Ciência discutida em Gil-Pérez *et al.* (2001), sobre a qual já falamos anteriormente. Os cientistas e a Ciência são agentes que têm seus próprios interesses, pois estão envolvidos nas complexas variáveis sociais, históricas, políticas, econômicas, dentre outras.

Quadro 33 – Terceira subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro FM-TL

Subcategoria	Unidades de Contexto/Unidade de Registro
Genialidade	<p>“[...] Aparentemente, o aumento da energia por unidade de tempo incidente no cátodo não resultava em um aumento da energia cinética máxima dos elétrons emitidos, o que estava em total desacordo com a teoria clássica. Em 1905, Einstein ofereceu uma explicação para essa observação em um artigo que foi publicado no mesmo volume dos <i>Annalen der Physik</i> que seus trabalhos a respeito da relatividade e do movimento browniano” (p. 89).</p> <p>“O físico alemão W. C. Roentgen descobriu os raios X em 1895, quando trabalhava com um tubo de raios catódicos. O cientista observou que os ‘raios’ produzidos no ponto em que os raios catódicos (elétrons) atingiam o tubo de vidro, ou um alvo instalado no interior do tubo, podiam atravessar objetos opacos e excitar uma tela fluorescente ou um filme fotográfico. Roentgen investigou exaustivamente o fenômeno e descobriu que todos os materiais, em maior ou menor grau, eram transparentes a esses raios e que a transparência era inversamente proporcional à densidade do material” (p. 91).</p> <p>“[...] O fato de a uma radiação eletromagnética de energia E estar associado um elemento E/c é compatível com a teoria clássica e tinha sido demonstrado experimentalmente por Nichols e Hull em 1901” (p. 93-94).</p> <p>“As idéias de de Broglie foram ampliadas e transformadas em uma teoria completa por Erwin Schrödinger no final de 1925” (p. 128).</p> <p>“[...] Davisson e Germer mostraram, portanto, de forma concludente, que partículas dotadas de massa de repouso apresentam propriedades ondulatórias, como de Broglie havia previsto” (p. 132).</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando tudo parecia sem sentido e sem solução, de repente, surgiu alguém com uma inteligência e visão aguçadas, realizando o que outrora não havia sido feito. Isso é que podemos ver no fragmento “Em 1905, Einstein ofereceu uma explicação para essa observação”, do primeiro trecho do Quadro 33. Esse modo de descrever está de acordo com a visão individualista e elitista apresentada por Gil-Pérez *et al.* (2001).

Quando se trata da combinação entre inteligência fora do comum e o acaso, o segundo excerto, a partir do fragmento, “O físico alemão W. C. Roentgen descobriu os raios X em 1895, quando trabalhava com um tubo de raios catódicos”, ilustra esse caso. Exemplos assim sugerem que “descobertas” científicas podem ser realizadas sem a necessidade de reflexão, as quais podem acontecer sem que seja preciso recorrer a uma história e uma teoria prévias.

O fragmento “tinha sido demonstrado experimentalmente por Nichols e Hull em 1901”, do terceiro trecho, afirma o poder de previsão e capacidade aumentada de demonstração dos pesquisadores mencionados. A crítica, mais uma vez, está na individualização das realizações, pois considera alguns atores e desconsidera outros que podem ter contribuído para afirmar o “achado” científico. Da igual modo, o quarto

trecho também é passível dessa mesma crítica, considerando o fragmento “As idéias de Broglie foram ampliadas e transformadas em uma teoria completa por Erwin Schrödinger no final de 1925”.

Para encerrar as discussões, o quinto excerto - “Davisson e Germer mostraram, portanto, de forma concludente” - é exemplo de um desfecho para uma trama complicada, em que grandes intelectos surgem de maneira pontual e providencial. Essa genialidade não é dádiva de muitos nem pode ser adquirida tardiamente, pois é inata.

6.2.3.2 Categoria: Idealização

Para essa categoria, os trechos identificados foram associados a três subcategorias: simplificação, êxitos e generalização. A que mais concentrou trechos foi ‘simplificação’ e a com a menor quantidade foi ‘êxitos’. Suas subseqüentes análises são apresentadas logo abaixo.

Quadro 34 – Primeira subcategoria da categoria ‘Idealização’ para o livro FM-TL

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Simplificação	<p>“Hertz, que estava usando um circuito sintonizado com um centelhador para gerar as ondas e um circuito semelhante para detectá-las, observou acidentalmente que quando a luz proveniente do centelhador do transmissor deixava de incidir no centelhador do receptor, era necessário reduzir a distância entre os eletrodos do segundo centelhador para continuar recebendo os sinais. A luz facilitava, portanto, a produção de centelhas” (p. 87).</p>
	<p>“A descoberta inesperada do efeito fotoelétrico incomodou Hertz porque interferia na sua pesquisa principal, mas o cientista reconheceu imediatamente que se tratava de um fenômeno muito importante e interrompeu todos os outros trabalhos durante seis meses para estudá-lo mais de perto. Seus resultados, publicados naquele mesmo ano, foram complementados por outros pesquisadores” (p. 88).</p>
	<p>“[...] Em 1912, Laue sugeriu que, como os comprimentos de onda dos raios X eram da mesma ordem que o espaçamento dos átomos em um cristal, os átomos de um cristal poderiam se comportar como uma rede de difração tridimensional para os raios X. Os experimentos [...] logo confirmaram que os raios X são uma forma de radiação eletromagnética com comprimentos de onda entre 0,01 e 0,10 nm e que os átomos dos cristais formam uma estrutura regular” (p. 91-92).</p>
	<p>“Em 1912, W. L. Bragg propôs um método simples e conveniente para analisar a difração dos raios X pelos cristais. O cientista investigou a interferência dos raios X difratados por várias famílias de planos paralelos de átomos, hoje conhecidos como <i>planos de Bragg</i>” (p. 92).</p>
	<p>[...] O fato é que depois de tantos anos de discussão a respeito da verdadeira natureza da luz, os cientistas chegaram à conclusão de que são necessárias uma teoria corpuscular (ou quântica) para descrever com detalhes a interação da radiação eletromagnética com a matéria e uma teoria ondulatória para explicar fenômenos não-localizados como interferência e difração (p. 95).</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os fragmentos “Hertz, que estava usando um circuito sintonizado com um centelhador”, “observou acidentalmente”, “era necessário reduzir a distância entre os eletrodos” e “A luz facilitava, portanto, a produção de centelhas”, do primeiro trecho do Quadro 34, mostram uma sequência de passos que levaram a uma conclusão sem precedentes. Os autores descrevem tal evento de maneira simplificada, sem considerar fatores históricos e precedentes teóricos que podem ter contribuído para as conclusões alcançadas.

A simplicidade inerente ao segundo trecho, “mas o cientista reconheceu imediatamente que se tratava de um fenômeno muito importante”, está no imediato reconhecimento de que o cientista foi capaz de fazer. Será que é possível fazer observações tão precisas sem usar preceitos teóricos? Isso ilustra a concepção empírico-indutivista e atórica referida por Gil-Pérez *et al.* (2001).

Em se tratando do poder de resolver questionamentos de certos experimentos, o fragmento “Os experimentos [...] logo confirmaram que os raios X são uma forma de radiação eletromagnética”, do terceiro trecho, figura esse caso. A simplicidade dessa afirmação pode ser reconhecida na expressão “logo confirmaram”, pois revela uma facilidade de alcançar um objetivo previamente traçado ou latente, além de demonstrar um carácter cumulativo e linear do processo científico.

Do quarto trecho, considerando o fragmento “Em 1912, W. L. Bragg propôs um método simples e conveniente”, destacamos duas palavras que exemplificam o carácter simplificador inerente a elas: “simples” e “conveniente”. Além de não haver uma discussão mais detalhada sobre em que consiste esse método, essas palavras podem sugerir que as ferramentas e os métodos científicos surgem de maneira quase “milagrosa”.

O aspecto simplificador do sexto excerto, considerando os fragmentos “O fato é que depois de tantos anos de discussão”, “os cientistas chegaram à conclusão de que são necessárias uma teoria corpuscular” e “e uma teoria ondulatória”, está na desconsideração de estudos ocorridos entre o que se praticava na Física Clássica e o estabelecimento da Teoria Quântica. É como se os físicos não tivessem procurado respostas para os novos fenômenos que eram percebidos por eles.

Quadro 35 – Segunda subcategoria da categoria ‘Idealização’ para o livro FM-TL

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Êxitos	“Essa observação fez com os raios X começassem a ser usados na medicina alguns meses após a publicação do primeiro artigo de Roentgen” (p. 91).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando que o sucesso na Ciência é sinônimo de “produto”, o que pode ser transformado objetos ou métodos “utilizáveis”, o trecho do Quadro 35 é uma demonstração da nossa descrição. Os produtos surgem de maneira simples e direta, como em “Essa observação fez com os raios X começassem a ser usados na medicina”, como se os processos, entre um ponto inicial e um final, não fossem tão relevantes.

Quadro 36 – Terceira subcategoria da categoria ‘Idealização’ para o livro FM-TL

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Generalização	<p>“Einstein propôs que a quantização da energia usada por Planck no problema do corpo negro fosse uma característica universal da luz. Em vez de estar distribuída uniformemente no espaço no qual se propaga, a luz é constituída por quanta isolados de energia hf” (p. 89).</p> <p>“Roentgen investigou exaustivamente o fenômeno e descobriu que todos os materiais, em maior ou menor grau, eram transparentes a esses raios e que a transparência era inversamente proporcional à densidade do material” (p. 91).</p> <p>“Como o universo é constituído exclusivamente de matéria e radiação, a hipótese de de Broglie é um postulado fundamental a respeito da simetria da natureza” (p. 128).</p> <p>“Usando uma abordagem mais indireta, baseada na mecânica relativística, de Broglie demonstrou que as Eqs. 5-1 e 5-2 também se aplicam a partículas com massa de repouso diferente de zero. Em seguida, ele observou que essas equações levam a uma interpretação física da quantização do momento angular do elétron postulada por Bohr, a de que a quantização equivale à formação de uma onda estacionária” (p. 128).</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os fragmentos “Einstein propôs que a quantização da energia usada por Planck no problema do corpo negro fosse uma característica universal da luz” e “a hipótese de De Broglie é um postulado fundamental a respeito da simetria da natureza”, dos primeiro e terceiro trechos, respectivamente, aduzem sobre aspectos universais da natureza. Não estamos duvidando do que foi afirmado pelos autores ou pelos estudiosos, contudo, estamos criticando a construção da narrativa, pois pode sugerir que existem métodos ou teorias científicos “corretos”. Essa é uma imagem da Ciência que precisa ser bem problematizada nas aulas de Ciências.

Estamos conscientes da dificuldade de falar em uma “imagem correta” da construção do conhecimento científico, que parece sugerir a existência de um método científico universal, de um modelo único de mudança científica [...]. É preciso, então, evitar qualquer interpretação desse tipo, situação que não se consegue renunciando a falar das características da atividade científica, mas

sim com um esforço, consciente, para evitar simplificações e deturpações (GIL-PÉREZ *et al.*, 2001, p. 126-127).

Outro caso de generalização pode ser visto em “Roentgen investigou exaustivamente o fenômeno e descobriu que todos os materiais [...] eram transparentes a esses raios”, fragmento do terceiro trecho do Quadro 36. A partir de casos particulares, os autores discorreram sobre a universalização de um conceito ou consenso. Esse modo de descrever pode reforçar concepções empírico-indutivistas sobre os processos científicos.

De maneira sucinta, os autores afirmaram: “De Broglie demonstrou que as Eqs. 5-1 e 5-2 também se aplicam a partículas com massa de repouso diferente de zero” e “ele observou que essas equações levam a uma interpretação física da quantização do momento angular”. O aspecto simplificador, aqui, está na relação entre a conclusão e uma apresentação sintética das equações $f = \frac{E}{h}$ e $\lambda = \frac{h}{p}$.

6.2.3.3 Categoria: Drama Afetivo

As mensagens identificadas nessa categoria foram associadas às subcategorias ‘polarização’, ‘emoção’ e ‘discurso de autoridade’. A subcategoria ‘emoção’ foi a que concentrou mais trechos’ e a ‘polarização’, a que concentrou menos. Suas subsequentes análises são apresentadas logo abaixo.

Quadro 37 – Primeira subcategoria da categoria ‘Drama Afetivo’ para o livro FM-TL

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Polarização	[...] Nenhuma entidade material, pensavam os cientistas até o início do Século XX , podia se comportar ao mesmo tempo como uma partícula e uma onda. Hoje sabemos que os conceitos clássicos não descrevem adequadamente nem as ondas nem as partículas (p. 145-146).

Fonte: Elaborado pelo autor.

De maneira quase anacrônica, os autores discorreram sobre a compreensão da natureza atômica proveniente dos cientistas do início do Século XX e dos da atualidade. Considerando os fragmentos “pensavam os cientistas até o início do Século XX” e “Hoje sabemos que os conceitos clássicos não descrevem adequadamente” nossa afirmação ratificada. Olhar para o passado com as concepções do presente é uma atitude comum de quem não tem preparação adequada na Historiografia da Ciência (Cf. FORATO; MARTINS; PIETROCOLA, 2012).

Quadro 38 – Segunda subcategoria da categoria ‘Drama Afetivo’ para o livro FM-TL

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Emoção	<p>“É uma das grandes ironias da história da Ciência que no famoso experimento, realizado em 1887, no qual Hertz produziu e detectou ondas eletromagnéticas, confirmando assim a teoria ondulatória da luz de Maxwell, tenha sido observado também, pela primeira vez, o efeito fotoelétrico, que levou diretamente à descrição da luz em termos de partículas” (p. 87).</p>
	<p>“A descoberta inesperada do efeito fotoelétrico incomodou Hertz porque interferia na sua pesquisa principal, mas o cientista reconheceu imediatamente que se tratava de um fenômeno muito importante e interrompeu todos os outros trabalhos durante seis meses para estudá-lo mais de perto. Seus resultados, publicados naquele mesmo ano, foram complementados por outros pesquisadores” (p. 88).</p>
	<p>“Einstein não perdeu tempo para observar que a produção de raios X por bombardeio de elétrons era simplesmente um efeito fotoelétrico inverso, ao qual se aplicava a Eq. 3-36” (p. 93).</p>
	<p>“[...] Essa sugestão era altamente especulativa, já que não havia na época nenhum indício experimental do caráter ondulatório dos elétrons ou de qualquer outra partícula. Como o jovem cientista teria chegado a uma idéia aparentemente tão estranha? Na verdade, tratava-se de um ‘lampejo’, semelhante à ‘idéia fantástica’ de Einstein que o levou ao princípio de equivalência (p. 128).</p>
<p>“[...] O aquecimento e o resfriamento haviam cristalizado a superfície do alvo e o que estavam observando era a difração dos elétrons. Reconhecendo a importância da descoberta acidental, Davisson e Germer substituíram o alvo por um monocristal de níquel e investigaram exaustivamente o espalhamento dos elétrons” (p. 130).</p>	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o objetivo de engajar os leitores através da influência sobre suas emoções, os jogos de palavras de expressões cumprem esse papel. Olhando para os fragmentos “É uma das grandes ironias da história da Ciência que no famoso experimento”, “A descoberta inesperada do efeito fotoelétrico incomodou Hertz porque interferia na sua pesquisa principal” e “Reconhecendo a importância da descoberta acidental”, dos primeiro, segundo e quinto trechos do quadro 38, destacamos as expressões “grandes ironias”, “descoberta inesperada” e “descoberta acidental”.

Quando a intenção é de criar um clima de suspense, a subcategoria ‘emoção’ também descreve bem esse objetivo. Reconhecemos esse propósito nos terceiro e quarto trechos através dos fragmentos “Einstein não perdeu tempo”, “Essa sugestão era altamente especulativa”, “Como o jovem cientista teria chegado a uma idéia aparentemente tão estranha?” e “tratava-se de um ‘lampejo’, semelhante à ‘idéia fantástica’ de Einstein”.

Do parágrafo anterior, destacamos as seguintes expressões e uma palavra com essa característica de criar suspense: “não perdeu tempo”, “altamente especulativa”, “jovem cientista”, “aparentemente estranha”, “lampejo” e “ideia fantástica”. Assim

como as primeiras expressões, reconhecemos, como função, a procura de engajamento dos leitores através de descrições memoráveis, num sentido próprio das anedotas.

Quadro 39 – Terceira subcategoria da categoria ‘Drama afetivo’ para o livro FM-TL

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Discurso de autoridade	“[...] Se a tensão do tubo de raios X é dada em volts, o comprimento de onda de corte pode ser calculado através da seguinte equação empírica: $\lambda_m = \frac{1,24 \times 10^3}{V} nm$ (3-39). A Eq. 3-39 é chamada de regra de Duane-Hunt em homenagem a seus descobridores ” (p. 93).
	“Uma demonstração das propriedades ondulatórias de elétrons relativísticos foi feita no mesmo ano por G. P. Thomson, que observou a passagem de elétrons com energias na faixa de 10 a 40 keV por folhas metálicas delgadas (G. P. Thomson, filho de J. J. Thomson, dividiu com Davisson o prêmio Nobel de Física de 1937). O arranjo experimental (Fig. 5-8a) era semelhante ao usado para obter figuras de Laue usando raios X (veja Fig. 3-14)” (p. 133).
	“As Eqs. 5-27 e 5-28 são a expressão matemática do <i>princípio de indeterminação, formulado em 1927 por Heisenberg</i> ” (p. 141).
	“[...] Esse efeito, conhecido como efeito Mössbauer em homenagem a seu descobridor, é extremamente importante , pois permite gerar fótons com energias muito bem definidas, que podem ser usados em experimentos de altíssima precisão” (p. 145).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nessa subcategoria, reconhecemos trechos com mensagens que advogam sobre o que é inquestionável e sobre o que devemos acreditar por se tratar de afirmações ou asserções de nomes consagrados da História da Ciência. Os fragmentos destacados no Quadro 39 justificam essa definição, pois as descrições desse tipo utilizam palavras e expressões como “homenagem”, como em “é chamada de *regra de Duane-Hunt* em homenagem a seus descobridores” (trecho 1), “prêmio Nobel”, como em “G. P. Thomson, filho de J. J. Thomson, dividiu com Davisson o prêmio Nobel de Física de 1937” (trecho 2) e “formulado por”, como em “formulado em 1927 por Heisenberg” (trecho 3).

Assim como os exemplos citados no parágrafo anterior, os fragmentos “conhecido como efeito *Mössbauer* em homenagem a seu descobridor” e “é extremamente importante” (trecho 4) também reforçam o discurso de autoridade, o que leva o leitor a confiar nas informações prestadas pelos autores, sem estímulo, talvez, de um senso crítico em relação à formulação desses conceitos ou teorias.

6.2.3.4 Categoria: Narrativa Explicativa e de Justificação

Para a categoria ‘Narrativa Explicativa e de Justificação’, relacionamos os trechos selecionados das subcategorias ‘sequenciamento’ e ‘finalidade’. Foram concentrados mais trechos da subcategoria ‘finalidade’, cujas análises são apresentadas logo abaixo.

Quadro 40 – Primeira subcategoria da categoria ‘Narrativa Explicativa e de Justificação’ para o livro FM-TL

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Sequenciamento	<p>“[...] Descobriu-se que partículas negativas eram emitidas quando uma superfície limpa era exposta à luz. Em 1900, P. Lenard submeteu essas partículas a um campo magnético e descobriu que apresentavam uma razão carga-massa semelhante à dos raios catódicos estudados por Thomson; em outras palavras, as partículas emitidas eram elétrons” (p. 88).</p> <p>“Compton verificou seus resultados experimentalmente usando como fótons incidentes os fótons associados à linha do espectro característico de raios X do molibdênio com um comprimento de onda de 0,0711 e como alvo os elétrons de um bloco de grafita. O comprimento de onda dos fótons difratados foi medido com o auxílio de um cristal de calcita e uma câmara de ionização” (p. 95).</p> <p>“[...] Depois de aquecerem o alvo para remover uma camada de óxido que havia se formado quando o sistema de vácuo sofreu um vazamento, descobriram que o gráfico da intensidade do feixe refletido em função do ângulo de espalhamento apresentava máximos e mínimos” (p. 130).</p> <p>“Para demonstrar a influência das camadas atômicas internas sobre a difração, Davisson e Germer mantiveram fixo o ângulo ϕ do detector e variaram a tensão em vez de procurarem o ângulo correto para um dado valor de λ” (p. 132).</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Do primeiro trecho (Quadro 40), considerando a frase “Em 1900, P. Lenard submeteu essas partículas a um campo magnético”, reconhecemos a sugestão de um sequenciamento de ações que levou ao reconhecimento das partículas que eram lançadas de metais quando havia incidência de luz sobre eles. Nesse caso, os autores sugeririam que a descoberta foi acidental, apesar de utilizarem uma sequência específica de passos. Esse é o mesmo caso caracterizado no terceiro trecho em “Depois de aquecerem o alvo para remover uma camada de óxido”.

Em se tratando de sequências experimentais, convenientemente executadas para alguma “descoberta”, reconhecemos tal similaridade nos fragmentos “Compton verificou seus resultados experimentalmente usando como fótons incidentes os fótons associados à linha do espectro característico de raios X do molibdênio com um comprimento de onda de 0,0711 e como alvo os elétrons de um bloco de grafita” e “Davisson e Germer mantiveram fixo o ângulo ϕ do detector e variaram a tensão” do segundo e do quarto trechos.

Quadro 41 – Segunda subcategoria da categoria ‘Narrativa Explicativa e de Justificação’ para o livro FM-TL

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Finalidade	<p>“Hertz, que estava usando um circuito sintonizado com um centelhador para gerar as ondas e um circuito semelhante para detectá-las, observou acidentalmente que quando a luz proveniente do centelhador do transmissor deixava de incidir no centelhador do receptor, era necessário reduzir a distância entre os eletrodos do segundo centelhador para continuar recebendo os sinais. A luz facilitava, portanto, a produção de centelhas” (p. 87).</p>
	<p>“[...] Experimentos realizados por Millikan em 1914 e 1916 mostraram que a Eq. 3-36 estava correta e o valor de h calculado a partir desses experimentos concordou com o valor obtido por Planck” (p. 89).</p>
	<p>“[...] Compton aplicou as leis de conservação do momento e da energia, em sua forma relativística [...], à colisão de um fóton com um elétron; isso lhe permitiu calcular a diferença entre os comprimentos de onda do fóton incidente e do fóton difratado, $\lambda_2 - \lambda_1$, em função do ângulo de difração θ (p. 94).</p>
	<p>“Em 1927, C. J. Davisson e L. H. Germer confirmaram a hipótese de de Broglie ao produzirem figuras de interferência, uma característica dos fenômenos ondulatórios, usando feixes de elétrons” (p. 128).</p>
	<p>“Em uma breve nota publicada no número de 14 de agosto de 1925 da revista <i>Naturwissenschaften</i>, Walter Elsasser, que na época era aluno de Franck (o mesmo do experimento de Franck-Hertz), sugeriu que os efeitos ondulatórios associados a elétrons lentos poderiam ser observados usando monocristais para difratar as partículas” (p. 130).</p> <p>“As propriedades ondulatórias de átomos e moléculas foram demonstradas pela primeira vez em 1930 por Stern e Estermann, que usaram um cristal de fluoreto de lítio para difratar feixes de átomos de hélio e moléculas de hidrogênio” (p. 133).</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando o sentido de usar aparatos experimentais que conduzem a resultados bem definidos, relacionamos as frases “Hertz, que estava usando um circuito sintonizado com um centelhador para gerar as ondas e um circuito semelhante para detectá-las” e “A luz facilitava, portanto, a produção de centelhas”, do primeiro trecho do Quadro 41, pois reconhecemos essa finalidade nas falas dos autores. Esse é o caso reconhecido também no sexto trecho, a partir de “que usaram um cristal de fluoreto de lítio para difratar feixes de átomos de hélio e moléculas de hidrogênio”.

Alguns experimentos são mencionados como se tivessem uma finalidade preditiva, pois são preparados num momento anterior e demonstram leis ou teorias posteriormente. Esse é o caso identificado no segundo trecho “Experimentos realizados por Millikan em 1914 e 1916 mostraram que a Eq. 3-36 estava correta e o valor de h ”, referindo à equação $eV_0 = \left(\frac{1}{2}mv^2\right)_{máx} = hf - \phi$ como resultado dos experimentos realizados por Millikan.

Ao considerar a aplicação de pressupostos teóricos, hipóteses e leis, produzindo resultados ou possibilidades de mensurar, os fragmentos “Compton aplicou as leis de conservação do momento e da energia, em sua forma relativística” e “isso lhe permitiu calcular a diferença entre os comprimentos de onda do fóton incidente e do fóton difratado”, do terceiro trecho, são exemplos desse caso.

Já o fragmento “Em 1927, C. J. Davisson e L. H. Germer confirmaram a hipótese de de Broglie ao produzirem figuras de interferência” mostra a relação entre produtos científicos, um influenciando o conhecimento do outro, dando ao primeiro deles a finalidade de chegar ao outro resultado. Com um significado similar, temos o exemplo do fragmento “sugeriu que os efeitos ondulatórios associados a elétrons lentos poderiam ser observados usando monocristais para difratar as partículas”, que fala das hipóteses que levam a conclusões definidas.

6.2.3.5 Discussão e interpretação dos dados de FM-TL

A partir da exploração desse documento, afirmamos que o principal conteúdo do livro é de natureza físico-teórica, voltado para estudantes de graduação, e não apresentava uma aparente intenção de se realizar uma abordagem historiográfica como a que estamos habituados a encontrar na Historiografia da Ciência. No entanto, em alguns trechos, os autores se aproximaram de reflexões comuns às que os historiadores da Ciência fazem, como no caso da citação a seguir.

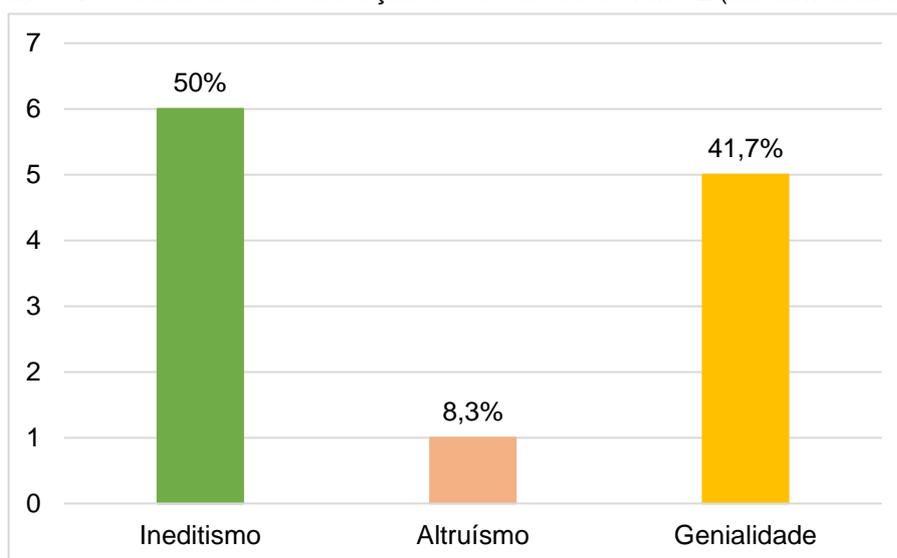
[...] temos que nos perguntar por que as propriedades ondulatórias da matéria não foram observadas antes do trabalho de De Broglie. Podemos compreender a razão se nos lembrarmos de que as propriedades da luz também não foram observadas até que os experimentadores dispusessem de fendas ou aberturas com dimensões comparáveis ao comprimento de onda da luz. Isto aconteceu porque a natureza ondulatória da luz não é fácil de observar em experimentos nos quais as dimensões básicas do equipamento são muito maiores que o comprimento de onda da radiação que está sendo investigada (TIPLER; LLEWELLYN, 2001, p. 128).

Nesse trecho, os autores se preocuparam em considerar as limitações experimentais dos cientistas antes de De Broglie e, por essa razão, as propriedades ondulatórias não foram descritas mais cedo. Esse é um ponto positivo de um material que pretende fazer uma abordagem histórica de algum conteúdo, apesar de os autores não terem uma carreira propriamente na Historiografia da Ciência.

Esse tipo de ocorrência é pontual, ao longo das páginas das quais foram retirados os trechos para a análise, e não se configura como uma abordagem, como um todo, historiográfica. Em alguns momentos, os autores usam fontes primárias, referenciando as falas dos próprios cientistas mencionados no texto, entretanto, sua função era mais de “persuadir” o leitor por meio do discurso de autoridade, com a intenção, talvez, de mostrar o caráter confiável do conteúdo prestado.

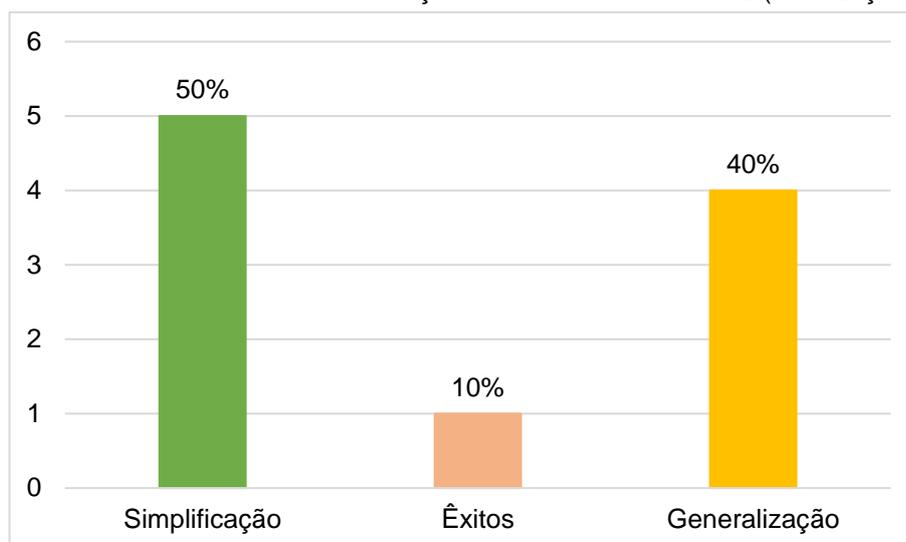
Em relação às subcategorias definidas para a categoria ‘Monumentalidade’, os trechos identificados foram distribuídos como se segue: ineditismo (6), altruísmo (1) e genialidade (5). Portanto, julgamos que existe uma tendência a se apresentarem os acontecimentos a partir de inovações promovidas pelos cientistas. Seus percentuais são apresentados no Gráfico 10.

Gráfico 10 – Tendência de descrição dos cientistas de FM-TL (Monumentalidade)



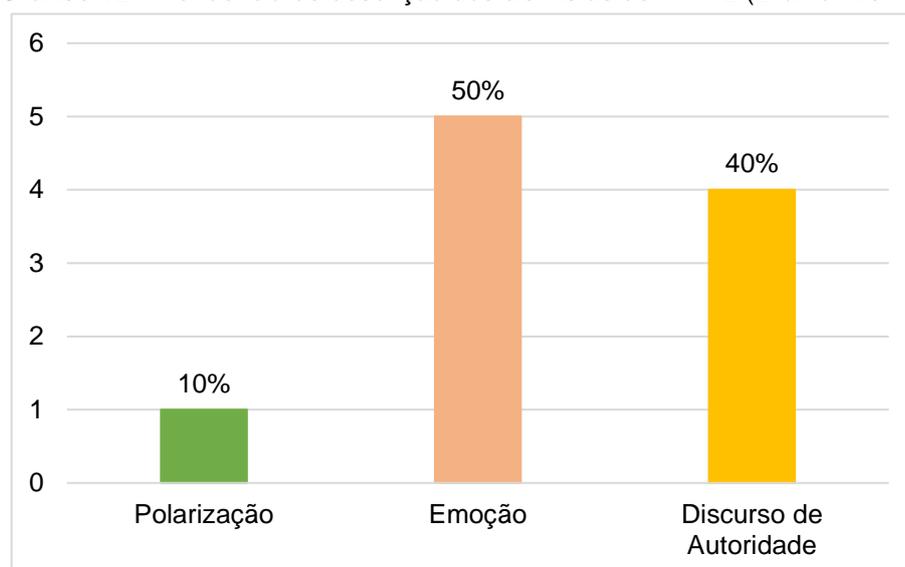
Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas subcategorias, da categoria ‘idealização’, os trechos selecionados para a análise foram distribuídos assim: simplificação (5), êxitos (1) e generalização (4). Entendemos que os autores tendem a simplificar os acontecimentos, apresentando o que julgam mais relevante, como os êxitos e os pontos positivos do episódio relacionado ao conteúdo abordado. Seus percentuais são apresentados no gráfico 11.

Gráfico 11 – Tendência de descrição dos cientistas de FM-TL (Idealização)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os trechos identificados na categoria 'Drama afetivo' foram relacionados às suas subcategorias desta forma: polarização (1), emoção (5) e discurso de autoridade (4). Pelas ocorrências, a função do texto é de engajar os leitores com artifícios que estimulem suas emoções e narrativas que atuem similarmente, como as anedotas, para atrair a atenção de quem lê através de relatos memoráveis. No gráfico 12, apresentamos seus percentuais.

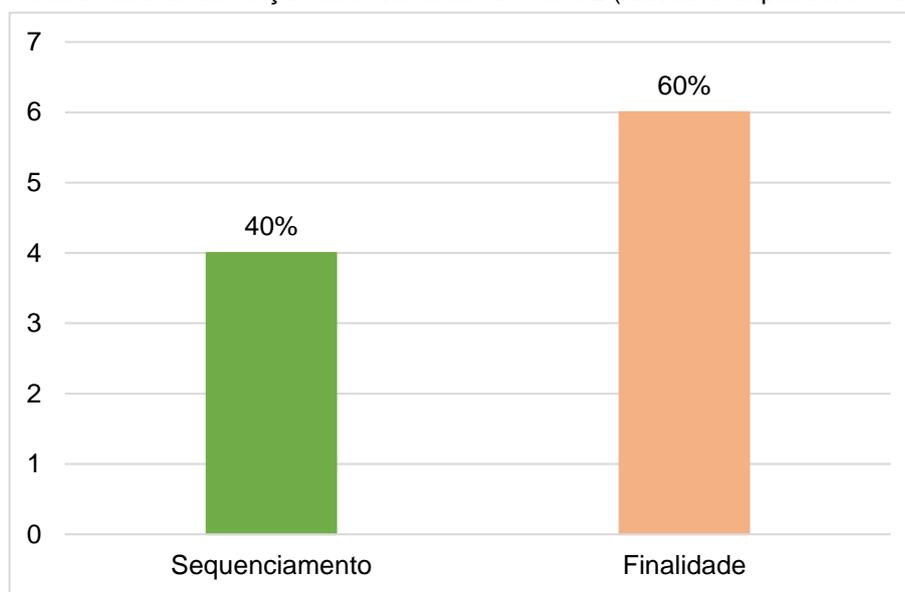
Gráfico 12 – Tendência de descrição dos cientistas de FM-TL (Drama Afetivo)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a categoria 'Narrativa Explicativa e de Justificação', os trechos relacionados às suas subcategorias tiveram a seguinte configuração: sequenciamento (4) e

finalidade (6). Em sua narrativa, os produtos científicos são uma consequência direta de procedimentos específicos, de hipóteses precisas, de consensos teóricos bem definidos, o que sugere que, se esses construtos não forem seguidos precisamente, alguns resultados não serão atingidos. Seus percentuais estão indicados no gráfico 13.

Gráfico 13 – Tendência de descrição dos cientistas de FM-TL (narrativa explicativa e de justificação)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando as ocorrências identificadas nesse documento, constatamos que o livro FM-TL veicula conteúdos de natureza pseudo-histórica, com aspectos inovativos, no que se refere às realizações dos cientistas, preza pela “boa história”, uma vez que valoriza mais os aspectos positivos, procura atrair a atenção dos leitores, por meio de suas emoções, e enfatiza os produtos como resultados diretos de teorias, aparatos experimentais ou hipóteses.

Essa tendência pode ser justificada pelas especializações dos autores, já que eles são pós-graduados em Física Teórica, e não, em História e Filosofia das Ciências ou área correlata. Para escrever conteúdos a partir de uma abordagem histórica, é necessário algum conhecimento sobre as discussões a respeito da abordagem HFC, mesmo que a intenção seja de apresentar os conhecimentos como um saber a ensinar⁸² (Cf. GIL-PÉREZ *et al.*, 2001; MARTINS, 2006; MATTHEWS, 1995).

6.2.4 Livro MQ-WWF

⁸² Termo cunhado por Chevallard (1991, apud FORATO, 2009).

6.2.4.1 Categoria: Monumentalidade

Nesse documento, referente à categoria ‘Monumentalidade’, os trechos selecionados foram distribuídos nas subcategorias ‘ineditismo’, ‘heroísmo’ e ‘genialidade’. Delas, a que mais concentrou trechos foi a subcategoria ‘genialidade’, e a que menos concentrou foi ‘heroísmo’. Suas respectivas análises são apresentadas a seguir.

Quadro 42 – Primeira subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro MQ-WWF

Subcategoria	Unidades de Contexto/Unidade de Registro
Ineditismo	“No início do Século XX, a Física foi marcada por profundas modificações que deram origem a duas novas teorias: a teoria da relatividade especial, apresentada por Albert Einstein em 1905, e a teoria quântica, que teve seu início com um trabalho de Max Planck, no ano de 1900 ” (p. 21-22).
	“ Einstein propôs que a absorção da luz , com uma determinada frequência ν , pelos elétrons do metal, acontece de forma discreta , em <i>quanta</i> (pacotes) de energia iguais a $h\nu$ ” (p. 37).
	“[...] Louis De Broglie postulou também uma relação entre o momento linear p e o vetor de onda k , através da expressão $p = \hbar k$ (1.73)” (p. 50).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Do primeiro trecho do Quadro 42, destacamos o fragmento “a Física foi marcada por profundas modificações [...]”: a teoria da relatividade especial, apresentada por Albert Einstein em 1905, e a teoria quântica, que teve seu início com um trabalho de Max Planck, no ano de 1900”. Aqui, reconhecemos a Ciência como um “espetáculo” de “monólogos”, pois a maioria das realizações e das revoluções científicas são associadas a alguns nomes nesse tipo de descrição.

No fragmento, “Einstein propôs que a absorção da luz [...] acontece de forma discreta”, do segundo trecho, reconhecemos a individualização de uma interpretação científica, assim como no terceiro trecho, no fragmento “Louis De Broglie postulou também uma relação entre o momento linear p e o vetor de onda k ”. Esses modos de “narrar” a Ciência é uma característica frequente, como temos visto nos documentos aqui analisados.

Quadro 43 – Segunda subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro MQ-WWF

Subcategoria	Unidades de Contexto/Unidade de Registro
Heroísmo	“[...] E foi novamente Einstein, em 1905, que chamou a atenção para o fato de que a emissão fotoelétrica poderia ser entendida em termos da hipótese de Planck ” (p. 37).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em se tratando de força, destemor e determinação, o trecho “E foi novamente Einstein, em 1905, que chamou a atenção para o fato de que a emissão fotoelétrica poderia ser entendida em termos da hipótese de Planck”, do Quadro 43, é um exemplo desse caso. Essa pode ser uma ilustração de sujeitos sobre-humanos, capazes de ultrapassar qualquer limite físico para fazer o que for preciso, característica própria da categoria ‘Monumentalidade’.

Quadro 44 – Terceira subcategoria da categoria ‘Monumentalidade’ para o livro MQ-WWF

Subcategoria	Unidades de Contexto/Unidade de Registro
Genialidade	<p>“A descoberta dos fenômenos de interferência e polarização da luz por Young e Fresnel, no Século XIX, forneceu evidências convincentes de que a luz é, de fato, um fenômeno ondulatório, alicerçando dessa forma a teoria ondulatória apresentada por Huygens” (p. 22).</p>
	<p>“O efeito fotoelétrico foi descoberto por Hertz em 1887 e consiste na emissão de elétrons por muitos metais, notadamente os metais alcalinos, quando submetidos à ação da luz. Por exemplo, fazendo incidir luz ultravioleta sobre uma superfície metálica polida, os elétrons dos átomos ali existentes absorvem energia dessa radiação e são arrancados do metal” (p. 36).</p>
	<p>“A comprovação da quantização do espaço foi experimentalmente demonstrada por Stern e Gerlach em 1922. Esses dois pesquisadores exploraram o fato de que um átomo tem um momento magnético μ na mesma direção que o momento angular L, associado com o movimento orbital do elétron no modelo atômico de Rutherford-Bohr” (p. 47).</p>
	<p>“A sugestão de que a matéria pode ter propriedades de ondas foi apresentada por Louis De Broglie em 1924. Ele argumentou que se a luz – um fenômeno ondulatório, segundo a teoria clássica, confirmado por muitos experimentos – pode, em determinadas circunstâncias, comportar-se como uma partícula, então, seria também possível que a matéria – que classicamente consiste de partículas – pudesse apresentar, sob determinadas circunstâncias, um comportamento de ondas” (p. 49).</p>
	<p>“Muitos dos princípios fundamentais da mecânica quântica foram desenvolvidos independentemente por Erwin Schrödinger e Werner Heisenberg em trabalhos publicados em 1926. A formulação da teoria quântica apresentada por Schrödinger foi elaborada em termos de propriedades das ondas materiais, com base na hipótese de Louis De Broglie. A teoria de Heisenberg foi formulada em termos de matrizes” (p.69).</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os exemplos dos fragmentos “A descoberta dos fenômenos de interferência e polarização da luz por Young e Fresnel” (trecho 1), “forneceu evidências convincentes de que a luz é, de fato, um fenômeno ondulatório” (trecho 1) e “O efeito fotoelétrico foi descoberto por Hertz em 1887” (trecho 2) são a combinação de casualidade e inteligência incomum. O contexto de descoberta é demarcado pela capacidade quase preditiva, portanto, não é necessária uma teoria para guiar as conclusões.

Quando se trata de experimentos cruciais - os que são considerados fundamentais e únicos para o empreendimento científico - o fragmento “A comprovação da

quantização do espaço foi experimentalmente demonstrada por Stern e Gerlach em 1922”, do terceiro parágrafo, adequa-se a essa descrição. O autor atribui a comprovação da quantização a apenas dois cientistas através de um experimento. O que nos chama a atenção são a individualização do feito e a descrição empírico-indutivista.

Em “A sugestão de que a matéria pode ter propriedades de ondas foi apresentada por Louis De Broglie em 1924” - quarto trecho - reconhecemos o sentido individualista e pontual na descrição da contribuição atribuída a De Broglie. As caricaturas monumentais não parecem se esforçar tanto para oferecer contribuições científicas, apenas decidem quando é o melhor momento de fazê-lo.

Como sinônimo de inteligência fora do comum e imprescindibilidade, o fragmento “Muitos dos princípios fundamentais da mecânica quântica foram desenvolvidos independentemente por Erwin Schrödinger e Werner Heisenberg em trabalhos publicados em 1926” (quinto trecho) ilustra esse caso. Schrödinger e Heisenberg são, praticamente, considerados os únicos desenvolvedores de suas teorias nessa descrição, desconsiderando-se o trabalho de vários outros que estiveram envolvidos com os seus objetos de estudos.

6.2.4.2 Categoria: Idealização

Para a categoria ‘Idealização’, nesse documento, associamos as mensagens selecionadas às subcategorias ‘simplificação’, ‘êxitos’ e ‘cronologias’. Essa categoria teve poucas mensagens associadas a ela, uma vez que o autor procurou fazer uma discussão satisfatoriamente extensa dos aspectos históricos. A subcategoria cronologias relaciona-se à redução de alguns fatos em datas, omitindo-se detalhes dos acontecimentos. Suas análises, respectivamente, são apresentadas a seguir.

Quadro 45 – Primeira subcategoria da categoria ‘Idealização’ para o livro MQ-WWF

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
	“[...] Supondo os raios X com um comprimento de onda λ , como corpúsculos ou quanta de energia $E = \frac{hc}{\lambda}$, Compton, em 1923, teorizou que esses corpúsculos em colisão com um elétron livre no alvo provocam um recuo desse elétron ” (p. 38).
Simplificação	“O postulado de Bohr, juntamente com a regra expressa pela Eq. (1.69), é hoje conhecido como <i>teoria quântica velha</i> . Nos dias de hoje, a riqueza dessa teoria reside no seu grande valor histórico . Detalhes e aplicações dessa teoria deixaram de ter maior interesse, haja vista ter sido suplantada por uma nova teoria, a mecânica quântica” (p. 46).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando entendemos que estabelecimentos científicos são viáveis com o uso de hipóteses e de experimentos por meio de relações de causa e efeito, corremos o risco de simplificar os fatos por trás do que ocorreu. No fragmento “Supondo os raios X com um comprimento de onda λ , [...] Compton, em 1923, teorizou que esses corpúsculos em colisão com um elétron livre no alvo provocam um recuo desse elétron” (trecho 1, Quadro 45) exemplifica nossa descrição. Porém, quando olhamos para o passado e atribuímos apenas valores “contemplativos” ao que, a princípio, serviu para fundar alguma teoria, por exemplo, também simplificamos os fatos em torno dos acontecimentos. No fragmento, “Nos dias de hoje, a riqueza dessa teoria reside no seu grande valor histórico” (trecho 2), sua inerente simplificação reside na suposta redução de valor da citada velha teoria quântica.

Quadro 46 – Segunda subcategoria da categoria ‘Idealização’ para o livro MQ-WWF

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Êxitos	“Essa constante, que é uma característica dos raios X espalhados, não pode ser reproduzida com base na teoria clássica do eletromagnetismo. O sucesso da teoria acima apresentada implica , de maneira clara e inequívoca, que a radiação eletromagnética , no efeito Compton, manifesta-se como um feixe de partículas ou quanta no processo de espalhamento ” (p. 39).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Do trecho do Quadro 46 - “O sucesso da teoria acima apresentada implica [...] que a radiação eletromagnética [...] manifesta-se como um feixe de partículas ou quanta no processo de espalhamento” - reconhecemos uma tendência a se supervalorizarem os resultados e os estados finais da teoria quântica contemporânea, pois o autor tende, frequentemente, a exaltar o *status* alcançado pelos cientistas atuais.

Quadro 47 – Terceira subcategoria da categoria ‘Idealização’ para o livro MQ-WWF

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Cronologias	“[...] Essa interação vai sempre perturbar o sistema observado, de tal forma que a determinação de uma das quantidades deixará a outra com uma certa indeterminação no seu valor. Um bom exemplo disso foi apresentado por Bohr em 1928 ” (p. 55).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao tratar das considerações feitas por Bohr sobre o problema da medição em sistemas atômicos, o autor diz que foi “Um bom exemplo disso foi apresentado por Bohr em 1928” (trecho do Quadro 47) e reduz o acontecimento a uma data, omitindo outras informações que podem ser relevantes para uma compreensão mais aproximada do que ocorreu a partir do que Bohr fez. Esse é um problema comum indicado

pela literatura (Cf. MARTINS, 2005; MARTINS, 2006) e recorrente entre os que não têm algum preparo em escrita em historiografia da Ciência.

6.2.4.3 Categoria: *Drama afetivo*

De todas as tendências do texto desse autor, a categoria 'drama afetivo' foi a que concentrou mais trechos. As subcategorias usadas foram 'polarização', 'emoção' e 'discurso de autoridade'. Porém a que predominou nessa categoria foi a polarização. Respectivamente, as suas análises são apresentadas a seguir.

Quadro 48 – Primeira subcategoria da categoria 'Drama afetivo' para o livro MQ-WWF

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Polarização	<p>Nos anos finais do Século XIX, os físicos acreditavam que os princípios fundamentais da física já haviam sido estabelecidos e que essa Ciência havia alcançado o estado de perfeição. Esse sentimento era justificado pelo grande avanço atingido em todos os campos da física até então conhecidos. [...]. Entretanto, o aparecimento de alguns fatos novos, ocorridos no Século XIX, tais como o comportamento da radiação do corpo negro (Kirchhoff – 1859), do efeito fotoelétrico (Hertz – 1887), dos raios X (Röntgen – 1895), da radioatividade (Becquerel - 1896), do elétron (Thomson – 1896) dentre outros, mostraram resultados que não eram compatíveis com a conhecida teoria clássica da física, abrindo novos horizontes para o nascimento de uma nova física: a física moderna (p. 21).</p> <p>“A teoria da relatividade mostrou que a mecânica newtoniana deixa de ser válida no estudo de corpos que estejam viajando a uma velocidade comparável à da luz, enquanto a mecânica quântica substituiu a newtoniana na descrição dos fenômenos que ocorrem nos níveis atômico e subatômico” (p. 22).</p> <p>Também para esse fenômeno, a absorção de energia pela matéria, não há explicação na teoria clássica da física. Já foi mencionado anteriormente o sucesso alcançado pela teoria de Planck, a qual faz parecer que a matéria, no processo de absorção e emissão de energia, se comporta como um pacote de onda (um <i>quantum</i> de energia). No efeito fotoelétrico, a natureza quântica para a troca de energia entre a radiação e a matéria é apresentada de uma forma muito direta” (p. 36-37).</p> <p>“[...] Com base na teoria clássica da física seria impossível ocorrer a existência de um máximo de energia cinética – no caso de elétrons arrancados do metal – relacionando com a frequência ν da radiação da luz incidente. Também seria impossível a emissão de qualquer elétron quando essa frequência tivesse um valor igual ou inferior a $\nu' = \frac{W}{h}$” (p. 37).</p> <p>“Essa constante, que é uma característica dos raios X espalhados, não pode ser reproduzida com base na teoria clássica do eletromagnetismo. O sucesso da teoria acima apresentada implica, de maneira clara e inequívoca, que a radiação eletromagnética, no efeito Compton, manifesta-se como um feixe de partículas ou <i>quanta</i> no processo de espalhamento” (p. 39).</p> <p>“A descoberta das propriedades quânticas do átomo (valores discretos de energia, momento angular etc.), deixou claro que essa imagem clássica é falha, pelo menos no domínio atômico. Entretanto, o sucesso da hipótese formulada por De Broglie – de que associada à partícula em movimento, de existir uma</p>

onda de comprimento $\lambda = \frac{h}{p}$ – deixou os físicos numa posição desconfortável, uma vez que uma onda harmônica pura estende-se necessariamente sobre todo o espaço” (p. 52).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Do primeiro trecho (Quadro 48), selecionamos os fragmentos “os físicos acreditavam que os princípios fundamentais da física já haviam sido estabelecidos e que essa Ciência havia alcançado o estado de perfeição”, “Entretanto, o aparecimento de alguns fatos novos, ocorridos no Século XIX” e “mostraram resultados que não eram compatíveis com a conhecida teoria clássica da física, abrindo novos horizontes para o nascimento de uma nova física: a *física moderna*”, em que o autor parece descrever pessoas ingênuas, que tendem a acreditar que estão no auge do desenvolvimento científico, e cientistas sofisticados, que colocaram à prova as crenças e as convicções criadas pelos estudiosos do período clássico da Física. Esse tipo de polarização enxerga os partícipes de tensões científicas como portadores de uma essência mais “infantil” e os com uma percepção “amadurecida” da realidade.

A respeito dos alcances e das limitações teóricas, os fragmentos “A teoria da relatividade mostrou que a mecânica newtoniana deixa de ser válida” e “enquanto a mecânica quântica substituiu a newtoniana”, do segundo trecho, caracterizam a mecânica clássica, especialmente a de Newton, como limitada, e a relatividade e a mecânica quântica como o ápice da Física. Não estamos discordando do autor quanto aos alcances de cada um dos modelos teóricos, contudo, no modo como o discurso é construído, algumas imagens equivocadas podem ser enfatizadas.

Similarmente ao caso anterior, os fragmentos “não há explicação na teoria clássica da física” e “Já foi mencionado anteriormente o sucesso alcançado pela teoria de Planck” (trecho 3) ilustram tipos de modelos teóricos “fracassados” e “vencedores”. Nessa descrição, enquanto um modelo é caracterizado por suas limitações, o modelo vencedor é caracterizado por suas potencialidades.

Mais uma vez, os fragmentos do quarto trecho, “Com base na teoria clássica da física seria impossível ocorrer a existência de um máximo de energia cinética” e “Também seria impossível a emissão de qualquer elétron quando essa frequência tivesse um valor igual ou inferior a $\nu' = \frac{W}{h}$ ”, enfatizam as fragilidades inerentes à teoria clássica, apresentando uma polarização latente entre os modelos teóricos clássico e quântico.

De igual modo, reconhecemos essa caracterização nos trechos 5 - “não pode ser reproduzida com base na teoria clássica do eletromagnetismo” e 6 - “deixou claro que essa imagem clássica é falha” e “o sucesso da hipótese formulada por De Broglie” (trecho 6).

Quadro 49 – Segunda subcategoria da categoria ‘Drama afetivo’ para o livro MQ-WWF

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Emoção	<p>“[...] Tal era o grau de beleza e precisão atingido no desenvolvimento dessa teoria que, naqueles tempos, não havia qualquer razão para suspeitar de sua validade geral na descrição de todos os fenômenos físicos e na previsão de resultados experimentais. Tudo levava a crer que a verdade absoluta havia sido estabelecida” (p. 21).</p> <p>“Uma confirmação de que a natureza nos presenteou com essa estranha e agradável simetria entre o comportamento da matéria e a radiação veio de experimentos realizados por Davisson e Germer, em 1927” (p. 50).</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nos fragmentos (trecho 1, Quadro 49) “Tal era o grau de beleza e precisão” e “Tudo levava a crer que a verdade absoluta havia sido estabelecida”, reconhecemos uma tendência a se criar uma atmosfera de contemplação na expressão “grau de beleza”, e suspense, em “a verdade absoluta havia sido estabelecida”.

Assim como o primeiro excerto, o trecho 2, “Uma confirmação de que a natureza nos presenteou com essa estranha e agradável simetria”, traz um sentido de contemplação nas palavras “estranha” e “agradável”. Características como contemplação e suspense os indicam como elementos da categoria ‘drama afetivo’ pelas comções que podem ser geradas a partir de duas abordagens.

Quadro 50 – Terceira subcategoria da categoria ‘Drama afetivo’ para o livro MQ-WWF

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Discurso de autoridade	<p>[...] Em outras palavras, o caráter de partícula ou de onda de uma entidade física é complementar e não pode ser exibido ao mesmo tempo. Isto é chamado de princípio da complementaridade de Bohr (p. 60).</p> <p>Das inúmeras discussões ocorridas entre Bohr, Heisenberg, Born e outros, ficou bastante claro que não é possível descrever a realidade do mundo microscópico (o mundo atômico) utilizando-se os conceitos clássicos da física para determinar, por exemplo, a trajetória de uma partícula, observando, mesmo instante, a correspondência exata de pares coordenados ($r_1, t_1; r_2, t_2; r_3, t_3 \dots$ espaço-tempo), ($P_1, t_1; P_2, t_2; P_3, t_3 \dots$ causa). De outra forma, Bohr argumentou que a implementação da posição exata de uma partícula acarreta total imprecisão no seu momento linear. Analogamente, a implementação do momento linear acarreta total imprecisão na posição da partícula em observação (p. 73-74).</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os próximos fragmentos - dos trechos do Quadro 50 - resumem os momentos das falas dos cientistas que são considerados autoridades nos temas abordados. Destacamos “Isto é chamado de *princípio da complementaridade de Bohr*” (trecho 1), “Das inúmeras discussões ocorridas entre Bohr, Heisenberg, Born e outros, ficou bastante claro” (trecho 2) e “De outra forma, Bohr argumentou” (trecho 2), pois retratam a descrição aqui apresentada.

6.2.4.4 Categoria: Narrativa explicativa e de justificação

Para a categoria ‘Narrativa explicativa e de justificação’, distribuímos as mensagens selecionadas nas subcategorias ‘sequenciamento’ e ‘finalidade’. A maior concentração foi na segunda subcategoria. Subsequentemente, apresentamos as análises das mensagens no quadro abaixo.

Quadro 51 – Primeira subcategoria da categoria ‘Narrativa Explicativa e de Justificação’ para o livro MQ-WWF

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
Sequenciamento	<p>“[...] Nos experimentos realizados por Davisson e Germer, o feixe de elétrons foi obtido por emissão termiônica de um filamento aquecido” (p. 50).</p> <p>“[...] Assim, Heisenberg elaborou uma teoria baseando-se apenas em quantidades físicas passíveis de ser observadas experimentalmente (por exemplo, intensidades e frequências das linhas espectrais). Como resultado, ele obteve uma formulação equivalente ao substituir o momento, momento angular e outras variáveis dinâmicas de uma partícula por operadores matriciais, conservando as formas das equações de movimento pouco alteradas em relação às fórmulas clássicas” (p. 70).</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao tratar de alcances científicos, como o feixe de elétrons e a elaboração de uma teoria baseada em grandezas que podem ser conhecidas, o autor os enfatiza a partir de sequências específicas, experimental ou de natureza teórico-hipotética. Reconhecemos essa característica nos fragmentos “o feixe de elétrons foi obtido por emissão termiônica de um filamento aquecido” (trecho 1) e “ele obteve uma formulação equivalente ao substituir o momento, momento angular e outras variáveis dinâmicas de uma partícula por operadores matriciais” (trecho 2) do Quadro 51.

Quadro 52 – Segunda subcategoria da categoria ‘Narrativa Explicativa e de Justificação’ para o livro MQ-WWF

Subcategoria	Unidades de Contexto/ Unidade de Registro
--------------	---

Finalidade	<p>“[...] Experimentos realizados por Lenard, em 1900, mostraram que os elétrons arrancados do metal produziam uma corrente elétrica num dado arranjo experimental” (p. 36).</p> <p>“Dados experimentais, já disponíveis na época, confirmavam a validade dessa expressão. Essa confirmação foi mais tarde reforçada com a realização de novos e mais sofisticados experimentos” (p. 37).</p> <p>“[...] Com esse argumento, De Broglie apresentou a hipótese de que a relação entre a energia E da partícula e a frequência ν da onda a ela associada é a mesma relação existente entre a energia do fóton (<i>quantum</i> de luz com comportamento de partícula) e a frequência da radiação luminosa $E = h\nu = \hbar\omega$ (1.72), em que $\omega = 2\pi\nu$ é a frequência angular” (p. 49-50).</p> <p>“[...] Esses experimentos demonstraram a existência de uma onda de De Broglie, associada com os elétrons de forma muito direta. Isso foi feito, mostrando que o padrão de difração de um feixe de elétrons monoenergéticos por um monocristal é o mesmo que aquele produzido por um feixe raios X” (p. 50).</p>
-------------------	---

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto aos experimentos cruciais, os exemplos dos primeiro e quarto trechos (Quadro 52) descrevem essa intenção na fala do autor nos fragmentos “Experimentos realizados por Lenard, em 1900, mostraram que os elétrons arrancados do metal produziam uma corrente elétrica num dado arranjo experimental” e “Esses experimentos demonstraram a existência de uma onda de De Broglie”, respectivamente.

No sentido de existência de um banco de dados, com o significado de estoque e acúmulo, o segundo trecho, “Dados experimentais, já disponíveis na época, confirmavam a validade dessa expressão”, exemplifica o caso de a expressão da energia cinética máxima ($E_{max} = h\nu - W$) ser justificada pela previsão oferecida por essas informações. Já o fragmento - “Com esse argumento, De Broglie apresentou a hipótese” - terceiro excerto, fala que, a partir do argumento sobre o comportamento corpuscular de que, se a luz existe, a matéria também pode existir, descreve-se uma relação direta entre o argumento e a conclusão sobre o fato de o outro elemento ter um comportamento dual e de haver uma extrapolação da interpretação para toda a natureza.

6.2.4.5 Discussão e interpretação dos dados de MQ-WWF

Esse documento apresentou uma rica abordagem histórica dos conceitos, mencionou vários detalhes dos acontecimentos e fez referência a várias personalidades que estiveram envolvidas. O autor não é um pesquisador ou escritor especialista em HFC, no entanto, o conteúdo elaborado não apresentou grandes problemas de mal uso de História da Ciência nem há muitos erros pseudo-históricos, apesar de termos indicado trechos com características de pseudo-história anteriormente.

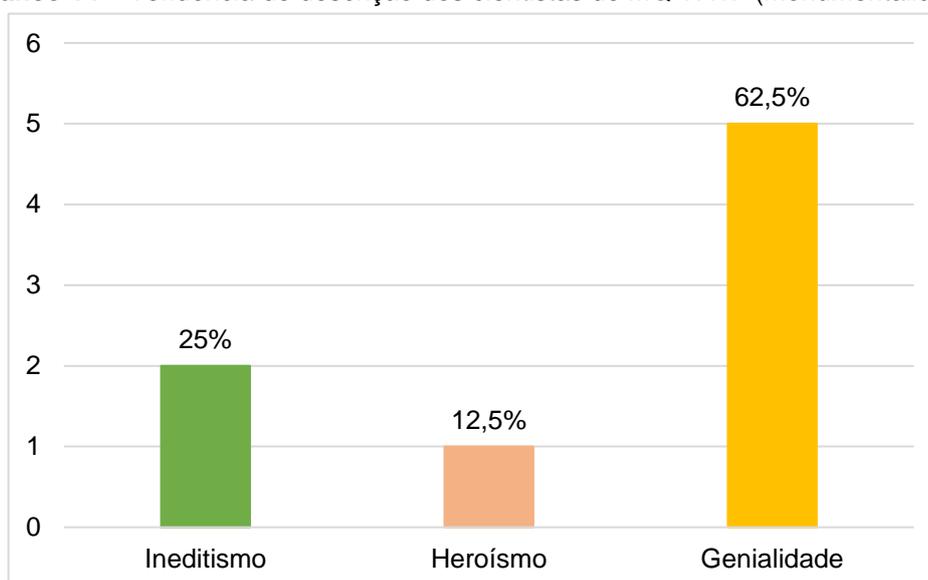
Julgando seu conteúdo com base no que analisamos, a principal característica pseudo-histórica identificada foi a da categoria ‘Drama Afetivo’, especificamente no sentido de haver polarização entre as teorias clássica e quântica. Essa tendência pode ser compreendida na provável intenção o autor de demarcar essas teorias, de um lado, como incapaz, limitada, atrasada, equivocada e, de outro lado, capaz, sofisticada, contemporânea e precisa.

O autor usou vários discursos que são considerados adequados em textos de historiografia científica, como a indicação de controvérsias e limitações entre esquemas teóricos, como apresentado na citação abaixo. As controvérsias é um ponto que encontra apoio na literatura especializada (Cf. FORATO, MARTINS, PIETROCOLA, 2012; GIL-PÉREZ *et al.*, 2001; MARTINS, 2006; MATTHEWS, 1995).

Dentro dessa estrutura da física clássica, ficava difícil alguém conceber uma partícula com propriedades de luz, ou luz com propriedades de partícula. Entretanto, algumas descobertas ocorridas no final do Século XIX e início do Século XX forneceram fortes evidências de que a matéria e a luz apresentam um comportamento dual *matéria-onda* (WOLNEY FILHO, 2002, p. 23).

As mensagens caracterizadas na categoria ‘Monumentalidade’ foram distribuídas em suas subcategorias, a saber: ineditismo (2), heroísmo (1) e genialidade (5). Assim, julgamos que os cientistas tendem a ser descritos como sujeitos de extraordinárias inteligências, capazes de alcançar ideais que nem todo ser humano consegue. Seus percentuais estão expostos no Gráfico 14.

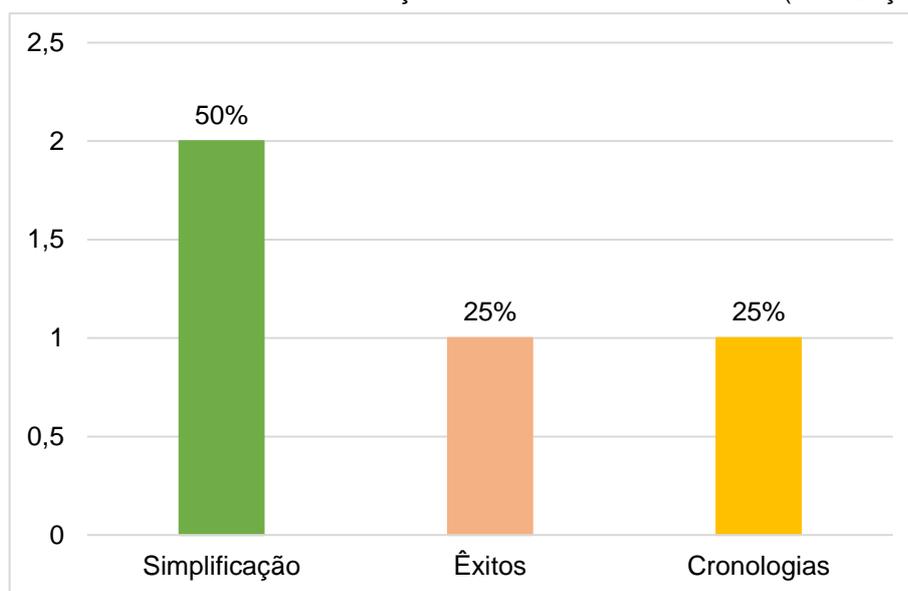
Gráfico 14 – Tendência de descrição dos cientistas de MQ-WWF (Monumentalidade)



Fonte: Elaborado pelo autor.

As mensagens caracterizadas na categoria ‘idealização’ foram distribuídas em nas subcategorias simplificação (2), êxitos (1) e cronologias (1). Dentre as três subcategorias, a simplificação é a que apresenta uma maior tendência. No entanto, como o autor usou uma considerável quantidade de informação histórica e de maneira adequada, essa categoria não tem grande expressividade de um modo geral no texto. Seus percentuais são apresentados no Gráfico 15.

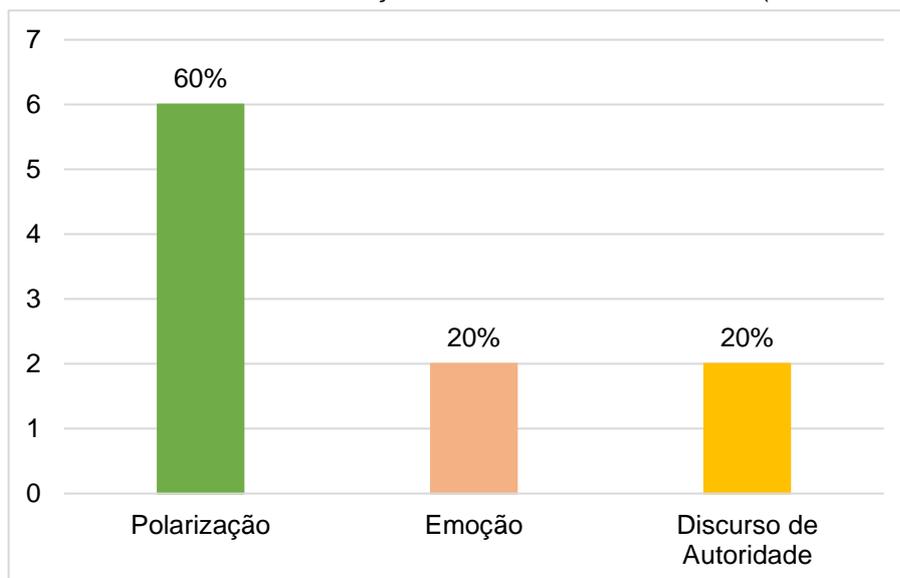
Gráfico 15 – Tendência de descrição dos cientistas de MQ-WWF (Idealização)



Fonte: Elaborado pelo autor.

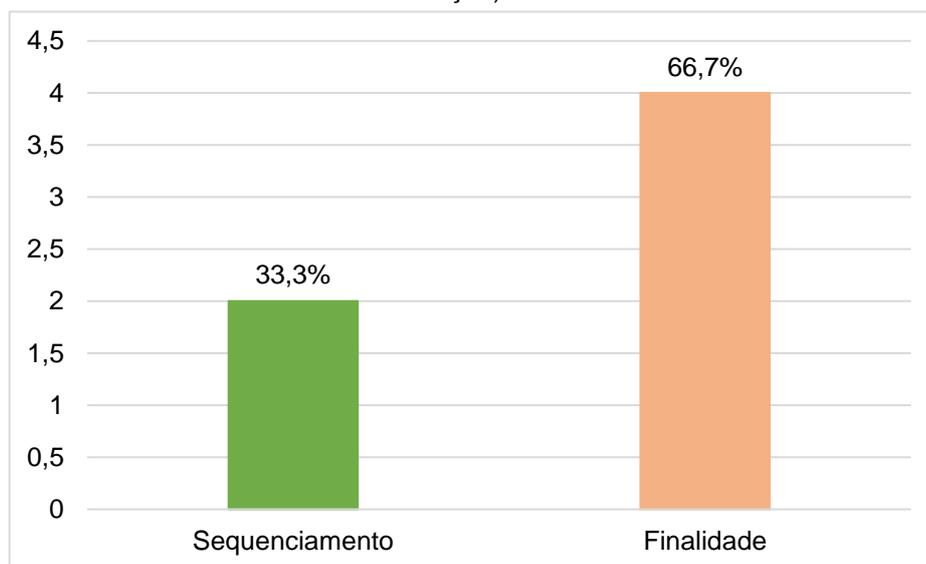
As mensagens caracterizadas na categoria ‘drama afetivo’ foram distribuídas em suas subcategorias ‘polarização’ (6), ‘emoção’ (2) e ‘discurso de autoridade’ (2). Dentre as quatro categorias (elementos da Arquitetura Mítica), o ‘drama afetivo’ foi a que teve a maior expressividade na fala do autor, tendencialmente a partir de polarizações, como a caracterização de perdedores e vencedores, teorias capazes e incapazes, modelos teóricos limitados e sofisticados, dentre outras características.

Ênfase desse tipo é comum de ser encontrada em abordagens “historiográficas” de pessoas sem formação específica ou experiência prévia mais consistente. Nesse sentido, “[...] a história das controvérsias ou aparece de maneira bastante distorcida ou leva a uma versão que as esconde” (BASTOS FILHO, 2012, 75), o que, para Bastos Filho, não contribui para que estudantes e professores possam construir um processo de ensino e aprendizagem que conduza a uma compreensão adequada dos funcionamentos da Ciência. Os percentuais das subcategorias da categoria Drama Afetivo são apresentados no Gráfico 16.

Gráfico 16 – Tendência de descrição dos cientistas de MQ-WWF (Drama Afetivo)

Fonte: Elaborado pelo autor.

A distribuição das mensagens das subcategorias da categoria 'narrativa explicativa e de justificação' foi a seguinte: sequenciamento (2) e finalidade (4). A partir daí, indicamos a tendência de atribuir finalidades específicas e precisas de experimentos, resultados experimentais, hipóteses e suposições relevantes para o estabelecimento de empreendimentos científicos. Assim como as categorias 'Monumentalidade' e 'Idealização', essa categoria também não teve grande expressão no texto do autor. Os percentuais das subcategorias são apresentados no Gráfico 17.

Gráfico 17 – Tendência de descrição dos cientistas de MQ-WWF (Narrativa Explicativa e de Justificação)

Fonte: Elaborado pelo autor.

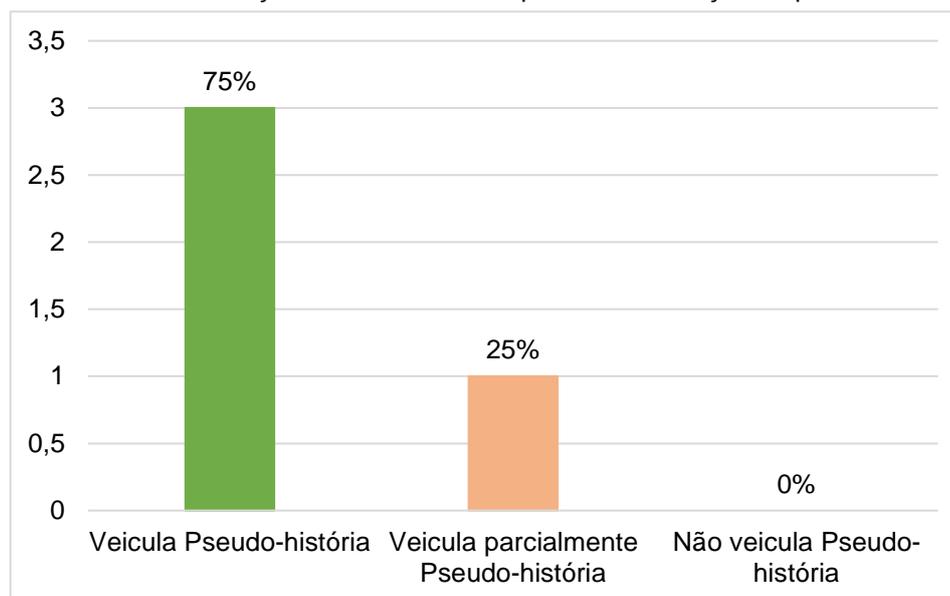
Apesar de termos caracterizado vários trechos de acordo com os elementos da Arquitetura Mítica nesse documento, consideramos que o texto, de um modo geral, não veicula discursos pseudo-históricos tão graves e aparentes. Há mensagens que carregam essa conotação, mas que podem ser facilmente contornadas ou ter um caráter menos nocivo, se comparado com vários outros materiais de Física.

Julgamos que, nesse documento, prevalece o drama afetivo, pois há uma forte tendência a polarizar os valores dos partícipes de empreendimentos científicos e comparação entre esquemas teóricos que, sob um olhar epistemológico, tratam de objetos de investigação distintos, descritos como se objetivassem a descrever os mesmos entes físicos. Além disso, reconhecemos a descrição de teorias como capazes e incapazes, o que também é uma espécie de polarização.

6.2.5 Considerações sobre a análise dos dados e comparação entre os documentos analisados

Com base nos dados coletados e em suas respectivas análises, podemos dizer que, dos quatro documentos analisados, três (AP-MB, FP-ER e FM-TL) veiculam mensagens com características pseudo-históricas de maneira mais evidente. Um (MQ-WWF) deles veicula mensagens pseudo-históricas, no entanto, entendemos que esse documento o faça de modo parcial, porque só prevalece um dos elementos da Arquitetura Mítica - o drama afetivo.

Sem a pretensão de generalizar e afirmar que esse é um caso para todas as produções científicas de livros-textos, entretanto, podemos observar que na grande maioria (75%) dos documentos analisados podemos encontrar discursos que distorcem as imagens da Ciência e dos cientistas, e que apenas uma pequena parcela (25%) conseguiu construir um texto que contribui para imagens mais adequadas do trabalho científico e das características dos partícipes de empreendimentos científicos. Esses percentuais encontram-se sintetizados no Gráfico 18.

Gráfico 18 – Distribuição dos documentos quanto à veiculação de pseudo-história

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os documentos que veiculavam pseudo-história, de maneira mais incisiva, descreviam os cientistas como sujeitos altamente dotados intelectualmente, no entanto, como uma característica inata e que nunca pudesse ser alcançada por pessoas consideradas comuns. Além disso, tendiam a simplificar os fatos em torno dos acontecimentos que descreviam, omitindo disputas entre teorias e cientistas, e a mostrar apenas pontos positivos em detrimento do que pode ser considerado negativo, como controvérsias, “fracassos” que algum programa de pesquisa pudesse ter tido, dentre outras questões.

Essas pseudo-histórias funcionavam para envolver e engajar os seus leitores, a partir de frases de efeitos, expressões, palavras memoráveis e anedotas. Os processos científicos eram descritos a partir de causalidades que envolviam hipóteses específicas, experimentos cruciais, teorias e produtos científicos, elementos bem específicos sem os quais os resultados apresentados não poderiam ser viáveis.

Já o documento que apresentou parcialmente discursos pseudo-históricos o fez mais na polarização de teorias, como as limitadas, as atrasadas e as sofisticadas e capazes de responder bem a todos os fenômenos de campo de estudo em questão. Ademais, algumas caricaturas de cientistas encontradas estavam entre pessoas ingênuas, que não sabiam ou entendiam bem o que acontecia, e s sábios, que conseguiam enxergar o que os outros eram incapazes de fazê-lo.

Acerca dos pontos positivos do quarto documento, ele procurou explorar, com razoável extensão, os episódios apresentados, assim como num nível ideal de adequação com a abordagem da Historiografia da Ciência. Nele, pudemos encontrar discussões sobre os alcances das teorias, em um tom mais próximo do que defendemos como historicamente adequado, controvérsias teóricas e entre cientistas, oposições a certas proposições teóricas, dentre outras características praticáveis na abordagem HFC.

7 CONCLUSÃO

Não raro, as pseudo-histórias podem ser encontradas com grande frequência em diversos discursos aos quais estão expostos diariamente, especialmente os conteúdos de livros-textos que podem compor a lista de principal consulta de professores e alunos. Esse tipo de discurso é considerado nocivo quando se trata de compreender os modos como a Ciência funciona (comumente chamado de Natureza da Ciência – NdC) e como seus partícipes (cientistas) procedem em empreendimentos científicos.

Em se tratando dos livros-textos do Ensino Superior, na maioria dos casos, considerados clássicos, como os que analisamos aqui, fazem esse tipo de abordagem equivocada da história e são consumidos pela comunidade acadêmica de maneira inadvertida, sem que os professores reflitam sobre se o conteúdo propaga erros e equívocos ou não. Em grande parte, esses professores não podem ser culpabilizados por esse uso de conteúdo histórico considerado inadequado, pois muitos deles não conseguiriam reconhecer as “armadilhas” escondidas em certos enredos, como as anedotas, por exemplo.

Considerando o contexto dos Cursos de Licenciatura em Física, devemos levar em conta que a maioria dos responsáveis por disciplinas e pela seleção da bibliografia não tem alguma formação em HFC e, alguns dos problemas aqui apontados são quase “invisíveis” para eles. Geralmente, esses professores têm especialidades significativamente distintas da necessária para se fazer uma avaliação adequada do conteúdo histórico. Os professores-pesquisadores se especializaram em áreas que, em geral, chamamos de puras, como Física da Matéria Condensada (FdMC), Física Nuclear (FN), Física Quântica (FQ), dentre outras.

Dentro das linhas de pesquisa em Ensino de Ciências, a HFC tem suas especificidades que até os que também pesquisam sobre o Ensino de Ciências em outras linhas podem selecionar livros didáticos ou livros-textos de Ensino Superior sem conseguir perceber diversas distorções comumente veiculadas. Muitas inadequações são mais fáceis de notar, outras são muito sutis e é preciso haver algum envolvimento com a HFC para se conseguir selecionar materiais mais adequados historicamente.

Grande parte dos livros que analisamos nesta pesquisa - os livros-textos de FMC - apresenta vários problemas de pseudo-história. Vários deles eram claramente perceptíveis para quem teve algum treinamento em HFC, mesmo que mínimo. Outros eram mais sutis e requeriam mais atenção e discernimento. Esses documentos são

apontados no PPC da Licenciatura em Física, do Campus I da UEPB (CCT/UEPB), como bibliografia básica (BB), ou seja, são os principais meios de consulta de professores e estudantes que estão lidando com os temas neles abordados.

Uma vez identificados esses problemas nos documentos analisados, o que devemos fazer em seguida? Será que deveríamos abandoná-los e procurar outros que estejam historicamente adequados? Será que essa substituição é viável? Digamos que esses questionamentos não sejam simples de responder nesse momento (até porque esse não é nosso foco), mas podemos considerar alguns pontos.

Sobre abandoná-los, entendemos que não é necessário, pelo menos por enquanto. Uma das possibilidades de usar esses livros é através de sua complementação, ou seja, tendo esses livros-textos como principal fonte. Outros podem servir de complemento, como artigos, livros com abordagem historiográfica produzidos por pesquisadores especialistas em HFC, teses e dissertações voltados para o tema.

Não pretendemos demonizar esses documentos, mas levantar algumas reflexões sobre o tipo de conteúdo que eles veiculam, porque representam um importante papel na formação profissional de quem está exposto a eles. Outrossim, uma substituição completa desses materiais pode não ser viável por um motivo que tem grande recorrência - a falta de material com discussões dessa natureza - como já apontou a literatura especializada. Além disso, a HFC é um dos campos de qualquer área científica e não há pretensões de transformar os Cursos de Física (Bacharelado ou Licenciatura), por exemplo, em cursos de HFC.

Como já mencionamos, esse aspecto científico pode ser explorado por meio de bibliografia complementar (BC), que é o resultado de pesquisas e livros organizados exclusivamente com esse tema e pesquisas específicas de programas de pós-graduação, como esta dissertação. Nesses trabalhos, os momentos históricos são apresentados em forma de episódios e tratam de aspectos epistemológicos ou extracientíficos (próprios das Ciências sociais, antropológicas, psicológicas, políticas, dentre outras envolvidas com processos científicos).

Um grande problema para se trabalhar com a abordagem HFC é a formação dos professores em nível superior ou médio. Essa é uma das barreiras já apontada pela literatura especializada e que representa uma das principais dificuldades para se abordar adequadamente a HFC. Isso não quer dizer que não haja tentativas de tal abordagem, no entanto, quando isso acontece, é por meio de cronologias, anedotas, distorções das imagens dos cientistas e do funcionamento da própria Ciência.

Um dos primeiros passos para se fazer uma abordagem adequada pode ser um treinamento, mesmo que mínimo, dos professores em HFC, de modo que eles consigam reconhecer discursos inadequados e optar por um que esteja mais coerente com os acontecimentos e com a produção historiográfica. Alguém poderia se perguntar: “Mas, para que tanta preocupação em saber como os livros-textos veiculam esses conteúdos?” Dizemos que nos preocupamos com esses documentos porque eles estão diretamente ligados à formação docente.

As fontes que os futuros professores consultam podem moldar e construir suas concepções e visões sobre a Física, em seus modos de funcionar, e sobre os papéis desempenhados pelos cientistas. Essas visões são levadas para as salas de aula do Ensino Médio, o que contribui para propagar distorções próprias das pseudo-histórias, como discutimos ao longo deste trabalho. Defendemos essa preparação levando em conta o que nos recomenda Matthews (1995): que estudar Ciências deve ser sobre os seus conceitos e sobre ela mesma, isto é, sobre sua história.

Sendo assim, não entendemos que seja prudente nem viável substituir em massa os livros-textos de Física, porque não há um grande número de produções adequadas em HFC nem se intenciona transformar os cursos em Curso de HFC. Contudo, acreditamos que é possível complementar esses materiais usando material suplementar escrito por pesquisadores em HFC, tanto de historiadores da Ciência quanto de pesquisadores do Ensino de Ciências inseridos nessa linha de pesquisa.

REFERÊNCIAS

Fundamentação Teórica e Episódio Histórico

- ALFORD, Mark G. Ghostly action at a distance: a non-technical explanation of the Bell inequality. **Physics Department, Washington University**, Saint Louis, June 6, 2015. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1506.02179>. Acesso em: 19 dez. 2019.
- ALLCHIN, Douglas. Pseudohistory and Pseudoscience. **Science and Education**, Minneapolis/MN, n. 13, p. 179-195. 2004.
- ALLCHIN, Douglas. Scientific Myth-conceptions. **Issues and Trends**, Minneapolis/MN, p. 229-351. 2002.
- ALMANAQUE Abril: A enciclopédia da atualidade. **Editora Abril**, São Paulo, ano 30, p. 1-794, 2004.
- BALSAS, Álvaro. Interpretação ortodoxa da Mecânica Quântica. *In*: BALSAS, Álvaro. **Realismo e localidade em Mecânica Quântica**. 21. ed. Campina Grande: EDU-EPB, 2013. p. 472.
- BARDIN, Laurence. **Análise do Conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BARROS, Marcos Antonio; SOARES, Joana Menara Souza. Contribuições teóricas e abordagens históricas do efeito fotoelétrico. **Revista Sustinere**, [S.l.], v. 4, n. 2, p. 221 - 232, jan. 2017. ISSN 2359-0424. Disponível em: <<https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/sustinere/article/view/26216/19516>>. Acesso em: 19 dez. 2019. doi: <https://doi.org/10.12957/sustinere.2016.26216>.
- BASTOS FILHO, Jenner Barretto. Qual história e qual filosofia da Ciência são capazes de melhorar o ensino de Física? *In*: PEDUZZI, Luiz O. Q.; MARTINS, André Ferrer P.; FERREIRA, Juliana Mesquita Hidalgo (Org.). **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. Natal, RN: EDUFRN, 2012. p. 65-83.
- BOHR, Niels. Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? **Physical Review**, Institute for Theoretical Physics, University of Copenhagen, v. 48, p. 696-702, 1935.
- BRASSARD, Gilles; MÉTHOT, André Allan. Can quantum-mechanical description of reality be considered incomplete? **International Journal of Quantum Information**, Montreal, v. 4, n. 1, p. 45-54, dez. 2006. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/quant-ph/0701001v1>. Acesso em: 28 de maio de 2019.
- BRICMONT, Jean. What did Bell really prove? *In*: Quantum Theory without observers III ZIF, 3., 2013, Bielefeld. **Anais** [...] Bielefeld: Université catholique de Louvain, 2013.
- BRIONES, Sérgio Barbero. Max Born: el hombre que hizo a Dios jugar a los dados. **Revista Española de Física**, Madrid, v. 32, n. 2, p. 57-64. 2018.

BROWN, Harvey R. O debate Einstein-Bohr sobre a Mecânica Quântica. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, Campinas/SP, v. 2, p. 51-89. 1981.

CELLARD, André. Análise documental. *In*: POUPART, Jean; DESLAURIERS, Jean-Pierre; GROULX, Lionei-H.; LAPERRIERE, Anne; MAYER, Robert; PIRES, Álvaro. **A pesquisa qualitativa: enfoques epistemológicos e metodológicos**. 3. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2012. p. 295-316.

CRESWELL, John W. O projeto de um estudo qualitativo. *In*: CRESWELL, John W. **Investigação qualitativa e projeto de pesquisa**. 3. ed. Porto Alegre: Penso, 2014. p. 48-66.

EINSTEIN, Albert; PQDOLSKY, Boris; ROSEN, Nathan. Can Quantum-Mechanical description of Physical reality be considered complete? **Physical Review**, Institute for Advanced Study, Princeton, New Jersey, v. 47, p. 777-780, 1935.

FANTIN, André Luiz Miraello Barão. “Física Quântica” de Eisberg e Resnick: átomos, moléculas e núcleos; autores, editores e leitores: uma história cultural de um best-seller do ensino universitário de Física. *In*: Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia (SNHCT), 17., 2020, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos [...]**. Rio de Janeiro: UNIRIO, 2020. Disponível em: <https://www.17snhct.sbhc.org.br/anais/trabalhos/trabalhosaprovados>. Acesso em: 26 fev. 2021.

FORATO, Thaís Cyrino de Mello; MARTINS, Roberto de Andrade; PIETROCOLA, Maurício. Enfrentando obstáculos na transposição didática da história da Ciência para a sala de aula. *In*: PEDUZZI, Luiz O. Q.; MARTINS, André Ferrer P.; FERREIRA, Juliana Mesquita Hidalgo (Org.). **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. Natal, RN: EDUFRN, 2012. p. 123-154.

FORATO, Thaís Cyrino de Mello. **A natureza da Ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz**. 2009. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática) – Programa de Pós-graduação em Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática educativa**. 25. ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

GIL-PÉREZ, Daniel; MONTORO, Isabel Fernández; ALÍS, Jaime Carrascosa; CACHAPUZ, António; PRAIA, João. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, São Paulo, n. 2, v. 7, p. 125-154, 2001.

GODOY, Arilda Schmidt. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 57-63. 1995a.

GODOY, Arilda Schmidt. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 20-29. 1995b.

GREENSTEIN, George; ZAJONC, Arthur G. Schrödinger’s Cat. *In*: GREENSTEIN, George; ZAJONC, Arthur G. **The Quantum Challenge: modern research on the**

foundations of Quantum Mechanics. London, UK: Jones and Bartlett Publishers, 1997, p. 157-179.

GREENSTEIN, George; ZAJONC, Arthur G. The EPR Paradox and Bell's Theorem. *In: GREENSTEIN, George; ZAJONC, Arthur G. **The Quantum Challenge**: modern research on the foundations of Quantum Mechanics. London, UK: Jones and Bartlett Publishers, 1997, p. 105-130.*

HERZ, Mônica. Política de segurança dos EUA para a América Latina após o final da Guerra Fria. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 46, n. 16, p. 85-104. 2002.

KANAMURA, Alberto Hideki; VIANA, Ana Luiza D'Ávila. Gastos elevados em plano privado de saúde: com quem e em quê. **Revista de Saúde Pública**, [S.l.], v. 41, n. 5, p. 814-820.

KAUARK, Fabiana da Silva; MANHÃES, Fernanda Castro; MEDEIROS, Carlos Henrique. **Metodologia da Pesquisa**: um guia prático. Itabuna: Via Litterarum, 2010.

KRIPKA, Rosana Maria Luvezute; SCHELLER, Morgana; BONOTTO, Danusa de Lara. Pesquisa documental na pesquisa qualitativa: conceitos e caracterização. **Revista de Investigación UNAD**, Bogotá, v. 14, n. 2, p. 55-73. 2015.

LAVINAS, Lena; GENTIL, Denise L. Brasil anos 2000: a política social sob a regência da financeirização. **Novos Estudos**: CEBRAP, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 191-211. 2018.

LENHARO, Alcir. Introdução. *In: LENHARO, Alcir. **Nazismo**: o triunfo da vontade. São Paulo: Editora Ática, 2003, p. 7-16.*

LLEWELLYN will direct combined 'super college'. **The UCF Report**, Orlando, 9 jul. 1980. Disponível em: <https://stars.library.ucf.edu/ucfreport/52/>. Acesso em: 26 mar. 2021.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. História da Ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência e Educação**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 305-317. 2005.

MARTINS, Roberto de Andrade. A maçã de Newton: história, lendas e tolices. *In: SILVA, Cibelle Celestino (org.). **Estudos de história e filosofia das Ciências**: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006, p. 167-189, (no prelo).*

MARTINS, Roberto de Andrade. História e história da Ciência: encontros e desencontros. *In: I CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE HISTÓRIA DA CIÊNCIA E DA TÉCNICA, 2001, Évora. **Atas...** Évora, 2001, p. 11-46.*

MARTINS, Roberto de Andrade. Introdução: a história das Ciências e seus usos na educação. *In: SILVA, Cibelle Celestino (org.). **Estudos de história e filosofia das Ciências**: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006, p. XXI-XXXIV.*

MATTHEWS, Michael R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, n. 3, v. 12, p. 164-214. 1995.

MEHRA, Jagdish; RECHENBERG, Helmut. The debate on the completeness of Quantum Mechanics and its description of reality (1931-1936). *In*: MEHRA, Jagdish; RECHENBERG, Helmut. **The Historical Development of Quantum Mechanics**. New York: Springer, 2001, p. 713-759.

NASCIMENTO, Lúcia Maria Barbosa do. A Análise Documental no entorno do Tratamento Documental. *In*: NASCIMENTO, Lúcia Maria Barbosa do. **Análise Documental e Análise Diplomática: perspectivas de interlocução de procedimentos**. Marília: UNESP, 2009. p. 25-79.

NEVES, José Luís. Pesquisa qualitativa: características e possibilidades. **Caderno de Pesquisas em Administração**, São Paulo, v. 1, n. 3, p. 1-5. 1996.

PESSOA JR., Osvaldo. Conceitos e interpretações da Mecânica Quântica: o Teorema de Bell. *In*: Workshop-Escola de Computação e Informação Quântica, 1., 2006, Pelotas. **Anais** [...] Pelotas: Programa de Pós-graduação em Informática, Universidade Católica de Pelotas, 2006. p. 5-22.

PIMENTEL, Alessandra. O método da Análise Documental: seu uso numa pesquisa historiográfica. **Cadernos de Pesquisa**, São Paulo, n. 114, p. 179-195, 2001.

SÁ-SILVA, Jackson Ronie; ALMEIDA, Cristóvão Domingos de; GUINDANI, Joel Felipe. Pesquisa documental: pistas teóricas e metodológicas. **Revista Brasileira de História & Ciências Sociais**, [S.l.], n. 1, p. 1-15, 2009.

SCHINCARIOL, Vitor Eduardo. Políticas econômicas dos Estados Unidos na administração de George W. Bush (2001-2008). **Crítica Histórica**, Alagoas, ano IX, n. 17, p. 275-304. 2018.

SILVA JÚNIOR, Altamiro. O desempenho econômico dos Estados Unidos na década de 90 e a inflação de ativos. *In*: SILVA JÚNIOR, Altamiro. **A inflação de ativos nos Estados Unidos nos anos 90**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2004. p. 5-57.

TAVARES, Taysy Fernandes; PRESTES, Maria Elice Brzezinski. Pseudo-história e ensino de Ciências: o caso Robert Hooke (1635-1703). **Revista da Biologia**, [S.l.], v. 9, p. 35-42. 2012.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG). **UFG concede títulos de professor emérito**. Goiânia: UFG, 2017. Disponível em: <https://www.ufg.br/n/102070-ufg-concede-titulos-de-professor-emerito>. Acesso em: 9 de abr. 2021.

ZEILINGER, Anton. Novos experimentos, novas incertezas, novas questões. *In*: ZEILINGER, Anton. **A face oculta da natureza: o novo mundo da Física Quântica**. São Paulo: Editora Globo, 2005, p. 57-129.

Documentos analisados

BORN, Max. **Atomic Physics**. 2 ed. Glasgow: Blackie and Son Limited, 1937.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Física Quântica**: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas. 8 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

TIPLER, Paul A.; LLEWELLYN, Ralph A. **Física Moderna**. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

WOLNEY FILHO, Waldemar. **Mecânica Quântica**. 2 ed. Goiânia: Editora UFG, 2002.